

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Studium vlivu drsnosti ocelového substrátu na vlastnosti povlaků
plněných malými částicemi**

DISERTAČNÍ PRÁCE

Studijní program:	P2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	2303V002 Strojírenská technologie
Školitel:	Doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.
Doktorand:	Ing. Lenka Dobrovodská

Ostrava 2010

ANOTACE DISERTAČNÍ PRÁCE

STUDIUM VLIVU DRSNOSTI OCELOVÉHO SUBSTRÁTU NA VLASTNOSTI POVLAKŮ PLNĚNÝCH MALÝMI ČÁSTICEMI

Disertační práce je zaměřena na studium vlivu drsnosti ocelového substrátu na vlastnosti povlaků plněných malými částicemi. Práce je rozdělena do dvou částí. První část se zabývá studiem dosavadních poznatků z této problematiky a v druhé experimentální části jsou důkladně prostudovány ocelové substráty připravené pomocí různých technologických postupů, jejich čistota, charakter povrchu a drsnost před aplikací nátěrového systému. Dále je sledován jejich vliv na vlastnosti organického vodou ředitelného transparentního nátěrového systému na bázi alkydové pryskyřice plněného malými částicemi fosforu zinečnatého v mikro a nanorozměrech. Tato nátěrová hmota na bázi alkydu neobsahuje volně těkavé organické látky (*VOC látky*), tedy splňuje emisní limity dané vyhláškou Ministerstva životního prostředí č. 355/2002 Sb. a podmínky Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2004/42/ES ze dne 21. dubna 2004, která se zabývá maximálním přípustným obsahem VOC látek v nátěrových hmotách. Nátěrový systém je dimenzován pro krátkodobou korozní ochranu definovanou na dobu 6 měsíců. V experimentální části je také uveden teoretický výpočet množství potřebných částic k pokrytí povrchu ocelového substrátu, nebo k zaplnění transparentního povlaku z ¼. Funkčnost tenkých vrstev tohoto nátěrového systému plněného antikoročním netoxickým pigmentem fosforečnanu zinečnatého v mikro a nanorozměrech ve dvou různých koncentracích vzhledem k různým ocelovým substrátům s různým charakterem povrchu, drsnosti povrchu a čistotou povrchu, bude ověřena v rámci experimentální části. Také bude zkoumán vliv velikosti frakcí a vliv koncentrace pigmentu na vlastnosti tenké vrstvy, přilnavost a korozní odolnost tenké vrstvy transparentního nátěrového systému aplikované na různé charakteru povrchu ocelového substrátu.

ANNOTATION OF THE DISSERTATION***INFLUENCE OF SURFACE ROUGHNESS OF STEEL SUBSTRATE ON THE
PROPERTIES OF COATINGS WITH SMALL PARTICLES***

Academic dissertation, specialized on the study the influence of surface roughness of steel substrate on the properties of coatings with small particles. Thesis consists of two parts. The first part deals with the study of existing knowledge on this problems and the second experimental part, are thoroughly studied on steel substrate prepared by different processes, and their purity, character, and the surface roughness, before application coating system. It is also monitored their effect on the properties of organic water-based transparent coating system based on alkyd resins with small particles of zinc phosphate in micro and nano size. These coatings based on alkyd resins contains free of volatile organic compounds (VOC), meets the emission limits set by the Ministry of Environment No. 355/2002 Sb. and conditions of the European Parliament and Council Directive 2004/42/ES of 21 April 2004, which deals with the maximum allowable VOC compounds in paint. Coating system is designed for short-term corrosion protection for a defined period of 6 months. In the experimental part is also given a theoretical calculation of the number of particles needed to cover the surface of steel substrate, or fill a transparent coating of $\frac{1}{4}$. The functionality of the thin film coating system with non-toxic anticorrosive pigment zinc phosphate in micro and nano size in two different concentrations with regard to different steel substrates with different surface characteristics, surface roughness and surface cleanliness, will be tested in the experimental section. Also examined the influence of the size fractions and the influence of pigment concentration on properties thin film, adhesion and corrosion resistance of thin film of transparent coating system applied to the different characters of the surface of steel substrate.

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ O STUDIU POVRCHU	
	A VLASTNOSTÍ POVLAKŮ	12
2.1	<i>POVRCH KOVOVÉHO MATERIÁLU</i>	<i>12</i>
2.1.1	Vlastnosti povrchu kovů	12
2.1.2	Povrchové napětí	12
2.2	<i>INTEGRITA POVRCHU</i>	<i>15</i>
2.2.1	Mikrogeometrie povrchu	15
2.2.2	Drsnost povrchu	17
2.2.3	Zbytková napětí	19
2.3	<i>CHEMICKÉ ÚPRAVY POVRCHU</i>	<i>21</i>
2.4	<i>MECHANICKÁ ÚPRAVA POVRCHU OTRYSKAVÁNÍM</i>	<i>22</i>
2.4.1	Primární jevy otryskaného povrchu	23
2.4.2	Sekundární jevy v procesu otryskávání	25
2.4.3	Otryskávací prostředky	26
2.5	<i>BROUŠENÍ</i>	<i>28</i>
2.5.1	Mechanické zatížení a vznik tepla při broušení	28
2.6	<i>VÁLCOVÁNÍ</i>	<i>30</i>
2.6.1	Válcování plechů	31
2.6.2	Válcování bezešvých trubek	32
2.7	<i>OCHRANA NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY</i>	<i>33</i>
2.7.1	Filmotvorné látky – pojiva, změkčovadla	35
2.7.2	Těkavé složky – rozpouštědla, ředidla	36
2.7.3	Pigmenty	37
2.7.4	Plniva	38
2.7.5	Ostatní přísady - aditiva	38
2.8	<i>VLASTNOSTI PIGMENTŮ</i>	<i>39</i>
2.8.1	Barevnost	39
2.8.2	Krycí schopnost (kryvost)	40
2.8.3	Index lomu η	40
2.8.4	Bariérový efekt pigmentů a plniv	41
2.8.5	Objemová koncentrace pigmentu (OKP)	42
2.9	<i>ZINKOVÉ ANTIKOROZNÍ PIGMENTY</i>	<i>43</i>
2.9.1	Kovový práškový zinek	43
2.9.2	Fosforečnan zinečnatý $Zn_3(PO_4)_2$	45

2.9.3	Oxid zinečnatý ZnO	46
2.10	NANOTECHNOLOGIE A NANOMATERIÁLY	46
2.10.1	Nanočástice zlata Au a stříbra Ag.....	47
2.10.2	Nanodisperzní struktura SiO ₂	48
2.10.3	Nanočástice oxidu zinečnatého ZnO	49
2.10.4	Fotokatalytické nanočástice oxidu titaničitého TiO ₂	50
2.10.5	Nanočástice oxidů železa	52
3	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	53
4	METODY ŘEŠENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE	54
5	CHAREKTERISTIKA VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ	55
5.1	CHARAKTERISTIKA PODKLADOVÉHO MATERIÁLU	55
5.1.1	Chemická analýza a fotodokumentace povrchu vzorků.....	59
5.2	CHARAKTERISTIKA ZP10	64
5.2.1	Morfologie povrchu ZP10 v mikro a nanorozměrech	64
5.2.2	Chemická analýza a fotodokumentace ZP10	66
5.3	TEORETICKÝ VÝPOČET PLNĚNÍ NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU	67
5.3.1	Teoretický výpočet částic ZP10 potřebných k pokrytí povrchu ocelového substrátu	68
5.3.2	Teoretický výpočet částic ZP10 potřebných k zaplnění jedné čtvrtiny objemu nátěrové hmoty	70
5.4	CHARAKTERISTIKA NÁTĚROVÝCH HMOT	71
5.5	OZNAČENÍ VZORKŮ	72
6	EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY MĚŘENÍ	74
6.1	VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ ČISTOTY POVRCHU DLE ČSN EN ISO 8501-1	74
6.2	HODNOCENÍ ČISTOTY POVRCHU DLE ČSN ISO 8502 - 3	75
6.3	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU DLE ČSN EN ISO 4287	76
6.4	STANOVENÍ ROZVINUTÉ PLOCHY POVRCHU	79
6.5	STANOVENÍ PROFILU POVRCHU PÁSKOU METODOU REPLIKY DLE ČSN EN ISO 8503-5	80
6.6	STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ	81
6.7	STANOVENÍ ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ	81
6.8	STANOVENÍ TLOUŠŤKY MOKRÉHO A SUCHÉHO NÁTĚROVÉHO FILMU DLE ČSN EN ISO 2808	82
6.8.1	Stanovení tloušťky mokrého filmu měřícím hřebem	82
6.8.2	Měření tloušťky suché vrstvy – magnetická metoda.....	83
6.9	RENTGENOVÁ FLUORESCENČNÍ ANALÝZA	83
6.10	NANOINDENTAČNÍ ZKOUŠKY	83

6.11	MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI DLE ČSN EN ISO 16276-2	84
6.12	VRYPOVÁ INDENTACE	86
6.13	ZKOUŠKA SOLNOU MLHOU ČSN EN ISO 9227	87
6.14	HODNOCENÍ DEGRADACE NÁTĚRŮ DLE ČSN EN ISO 4628	87
6.14.1	Hodnocení defektů a intenzity změn dle ČSN EN ISO 4628-1	87
6.14.2	Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2.....	88
6.14.3	Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3.....	88
6.14.4	Hodnocení stupně delaminace a koroze nátěrů v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8.....	89
7	HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK	90
7.1	VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ ČISTOTY DLE ČSN EN ISO 8501-1	90
7.2	HODNOCENÍ ČISTOTY POVRCHU DLE ČSN ISO 8502 - 3.....	90
7.3	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU DLE ČSN EN ISO 4287	91
7.3.1	G – povrch otryskaný ocelovou drtí - GP 18.....	92
7.3.2	S – povrch otryskaný měděnou struskou – 4VVD-4	94
7.3.3	V – válcovaný povrch.....	96
7.3.4	B – plechy s povrchem broušeným	98
7.3.5	T – válcovaný povrch za tepla - trubka.....	100
7.4	STANOVENÍ ROZVINUTÉ PLOCHY POVRCHU	106
7.5	STANOVENÍ PROFILU POVRCHU PÁSKOU METODOU REPLIKY DLE ČSN EN ISO 8503-5	107
7.6	POVRCHOVÉ NAPĚTÍ VZORKŮ.....	108
7.7	MĚŘENÍ ZBYTKOVÉHO NAPĚTÍ	108
7.8	APLIKACE NÁTĚROVÉ HMOTY	109
7.8.1	Fotodokumentace nátěrového systému	110
7.9	STANOVENÍ TLOUŠŤKY SUCHÉHO NÁTĚROVÉHO FILMU DLE ČSN EN ISO 2808.....	111
7.10	RENTGENOVÁ FLUORESCENČNÍ ANALÝZA	112
7.11	NANOINDENTAČNÍ ZKOUŠKY	114
7.11.1	Cyklická nanoindentace	115
7.12	MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI DLE ČSN EN ISO 16276-2	117
7.13	VRYPOVÁ INDENTACE	118
7.14	ZKOUŠKA SOLNOU MLHOU ČSN EN ISO 9227	121
7.14.1	Fotodokumentace vzorků po 48 h expozice v korozní komoře.....	122
7.14.2	Fotodokumentace vzorků po 120 h expozice v korozní komoře.....	126
7.14.3	Fotodokumentace vzorků po 240 h expozice v korozní komoře.....	130
7.14.4	Fotodokumentace vzorků po 360 h expozice v korozní komoře.....	134
7.14.5	Fotodokumentace vzorků po 480 h expozice v korozní komoře.....	138

7.14.6	Fotodokumentace vzorků po 720 h expozice v korozní komoře	141
8	ZÁVĚR.....	144
9	SPOLEČENSKÝ PŘÍNOS	146
10	CONCLUSIONS	147
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	148
	PUBLIKACE AUTORA SOUVISEJÍCÍ S DANOU PROBLEMATIKOU	156
	SEZNAM PŘÍLOH	158

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ*Přehled použitých veličin*

ZNAK	VELIČINA	JEDNOTKA
A_5	tažnost	[%]
F_n	normálová síla	[N]
F_t	třecí síla	[N]
KOKP	kritická objemová koncentrace pigmentu	[%]
OKP	objemová koncentrace pigmentu	[%]
R_a	střední aritmetická odchylka profilu	[μm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_i	stupeň prorezavění	[-]
R_{ku}	špičatost posuzovaného profilu	[-]
R_{Lo}	rozvinutá délka profilu	[mm]
R_m	mez pevnosti v tlaku	[MPa]
R_p	největší výška výstupku profilu	[μm]
R_{Pc}	počet vrcholů na jednotku délky	[/cm]
R_q	kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu	[μm]
R_{sk}	šikmost posuzovaného profilu	[-]
R_{Sm}	průměrná šířka prvku profilu v rámci vzorové délky	[μm]
R_v	největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
R_z	maximální výška profilu	[μm]
S_a	stupeň čistoty při otryskávání	[-]
S_t	stupeň čistoty při ručním a mechanickém čištění	[-]
T	teplota	[°C]
T_r	rekrytalizační teplota	[°C]
T_t	teplota tavení	[°C]
W_t	váhové množství	[%]
l_r	základní délka pro drsnost	[mm]
pH	vodíkový exponent – kyselost	[-]
t	čas	[min]
λ_c	filtr profilu	[mm]
μ	koeficient tření	[-]

Přehled použitého chemického značení

ZNAK	CHEMICKÝ NÁZEV
Ag	stříbro (Argentum)
Al	hliník (Aluminium)
Au	zlato (Aurum)
C	uhlík (Carboneum)
Ca	vápník (Calcium)
Cl	chlor (Chlorum)
Cr	chrom (Chromium)
Fe	železo (Ferrum)
FeO	oxid železnatý (wüstit)
Fe ₂ O ₃	oxid železitý (hematit)
Fe ₃ O ₄	oxid železnato-železitý (magnetit)
H ₂ O	voda
K	draslík (Kalium)
Mg	hořčík (Magnesium)
Mn	mangan (Manganum)
N	dusík (Nitrogenium)
NaCl	chlorid sodný
O	kyslík (Oxygenium)
P	fosfor (Phosphorus)
S	síra (Sulphur)
Si	křemík (Silicium)
SiO ₂	oxid křemičitý (Oxidum silicii)
Ti	titan (Titanium)
TiO ₂	oxid titaničitý (rutil, anatas, brookit)
Zn	zinek (Zincum)
ZnO	oxid zinečnatý (Zinkid)
Zn ₃ (PO ₄) ₂	fosforečnan zinečnatý

Přehled použitých zkratk

<u>ZKRATKA</u>	<u>NÁZEV</u>
AFM	Mikroskop atomárních sil
ČSN	Česká státní norma
EDAX	Mikroanalýza pomocí RTG záření
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní norma
P/P	Poměr plniva k pojivu
RTG	Rentgenové záření
SEM	Skenovací elektronový mikroskop
UV	Ultrafialové záření
UVA	Dlouhovlnné ultrafialové záření
UVB	Středněvlnné ultrafialové záření
VOC	Volně těkavé organické látky

1 ÚVOD

Dnešní doba je významná svým technickým pokrokem, díky tomuto rozvoji vědy a techniky ji lze označit za velice produktivní. Je zaznamenána vysoká produkce hutního materiálu, ať už polotovarů či hotových výrobků. Tyto polotovary či výrobky jsou pak dále exportovány ke svým odběratelům kde jsou dále zpracovávány, či montovány spolu s dalšími komponenty, tak aby plnily svůj účel. Expedice těchto výrobků může trvat několik dní až měsíců, proto je nutné tyto výrobky chránit proti korozi vhodnou povrchovou úpravou. Povrchové úpravy jsou nedílnou součástí výrobního procesu. Aby byla povrchová úprava kvalitní musí být dodrženy jisté podmínky, které jsou přesně definovány na začátku každého takového procesu, jedná se o předúpravu povrchu před aplikací ochranného povlaku. Předúpravou rozumíme samotné čištění povrchu ať už chemicky či mechanicky. Kvalitně provedenou předúpravou povrchu lze zajistit dobrou přilnavost povlaku, zvýšení jeho životnosti a tím i zlepšení korozní účinnosti. Z celé řady předpovrchových úprav stojí v popředí otryskávání jako vhodná technologie, kterou lze připravit povrch požadované jakosti jak už z hlediska čistoty tak pro vytvoření vhodného reliéfu pro zakotvení ochranných organických a anorganických povlaků. Organické nátěrové systémy tvoří 85 % všech systémů protikorozní ochrany. Ochranu poskytují především bariérovým způsobem. Aby byl bariérový efekt dlouhodobý musí tyto vrstvy dosahovat tloušťky několika stovek mikronů, tím vzrůstá i spotřeba nátěrových hmot. S tím jde ruku v ruce velmi debatované téma a to zatěžování životního prostředí, neboť většina těchto nátěrových systémů obsahuje zvýšené množství VOC látek, což je z ekologického hlediska nepřipustné. Dále mohou tyto nátěry obsahovat antikorozní pigmenty, které napomáhají odolnosti proti korozi. Dnes se již klasické antikorozní pigmenty na bázi olova či chromanů nahrazují netoxickými antikorozními pigmenty. Tyto pigmenty se ve velké míře používají v mikrometrických rozměrech, ovšem vývoj jde mílovými kroky ku předu a začínají se objevovat i povlaky plněné malými částicemi v nanorozměrech, které dávají těmto povlakům nové vlastnosti např. samočistící efekt (lotosový květ), vyšší tvrdost, odolnost proti UV záření atd. Velmi debatovaným tématem je snižování tloušťky povlaků a zvyšování jejich korozní odolnosti a v neposlední řadě i ekologické hledisko a ochrana životního prostředí snižováním VOC látek.

Cílem této disertační práce je studium vlivu drsnosti ocelového substrátu na vlastnosti povlaků plněných malými částicemi. Jedná se o tenkou vrstvu transparentního vodouředitelného nátěrového systému na bázi alkydové pryskyřice bez obsahu VOC látek plněného netoxickým antikorozním pigmentem fosfátem zinku v nano a mikro rozměrech. Cílem je zjistit, která předúprava ocelového substrátu je pro tyto tenké povlaky vyhovující a jak je ovlivňuje z hlediska přilnavosti a korozní odolnosti.

2 PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ O STUDIU POVRCHU A VLASTNOSTÍ POVLAKŮ

2.1 POVRCH KOVOVÉHO MATERIÁLU

Všechny kovové i nekovové předměty ohraničuje jejich povrch, který je v kontaktu s okolním prostředím. Dochází ke vzájemnému styku kovových, nekovových, kapalných a plynných fází. Povrchová vrstva se vytváří na povrchu kovu či nekovu. Skutečný povrch je povrch omezující těleso a odděluje jej od okolního prostředí.

2.1.1 Vlastnosti povrchu kovů

Uvnitř krystalů kovu se nachází atomy, které mají určitý počet okolních atomů. Tento počet atomů je dán hodnotou koordinačního čísla. Rovnováha tohoto krystalického prostředí je určena symetrií přitažlivých a odpudivých sil, které působí mezi uvažovaným atomem a jeho sousedy. Jestliže se atom nachází na povrchu kovu, je rovnováha porušena, protože je obklopen menším počtem atomů než uprostřed krystalu. Síly působící mezi atomem na povrchu a jeho zbylými sousedy jsou větší než síly působící mezi atomem a jeho sousedy uvnitř mřížky. Atom má na povrchu daleko větší schopnost reagovat s okolními atomy a molekulami cizí fáze, která ho obklopuje. Tato zvýšená reaktivita je důsledkem jeho snahy obnovit symetrii silového pole. Různá krystalografická orientace vzhledem k povrchu se projevuje na povrchovém napětí, tedy na povrchové volné energii.[26] Atomy kovů se snaží maximálně zaplnit prostor za působení velkých vazebních sil. Proto také kovy krystalují v nejhustěji uspořádaných mřížkách a mají vysoké koordinační číslo.

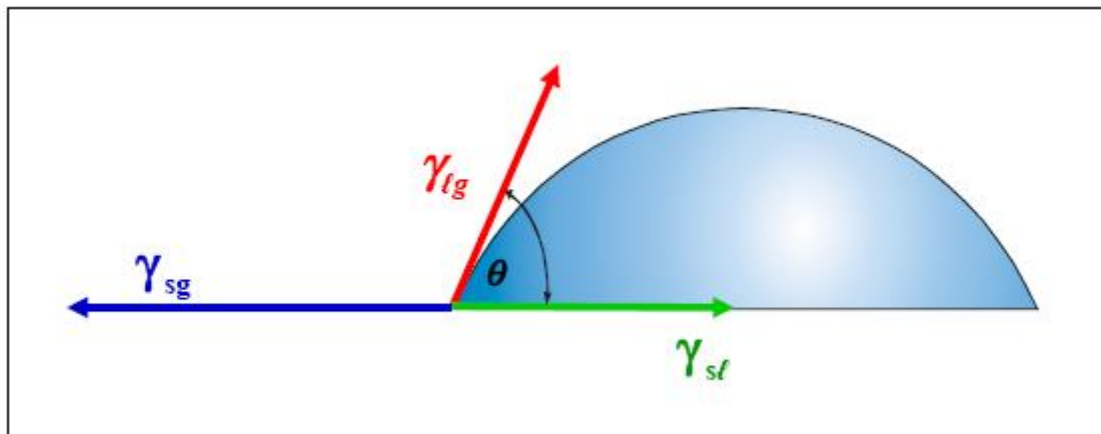
Tyto vlastnosti jsou významné při tzv. heterogenních dějích, např. korozi a katalýze. Povrch představuje rozhraní, na němž je spád elektrostatického potenciálu spojeného s určitým nábojem dvojvrstvy a mění se na něm koncentrace určité chemické látky. Díky nevyváženosti energetického pole u povrchu materiálu vzniká povrchové napětí a povrchová energie. Nejhustěji obsazeným krystalovým rovinám přísluší nejmenší povrchová energie.

2.1.2 Povrchové napětí

„Povrchové napětí vyplývá ze vzájemné přitažlivosti molekul kapalin.“[26] Jde o efekt, při kterém se povrch kapalin chová jako elastická fólie a snaží se dosáhnout co možná nejhladšího stavu s minimálním rozpětím. To znamená, že se povrch tekutiny snaží dosáhnout stavu s nejmenší energií. Jsou-li vnější síly velmi malé proti silám povrchového napětí, bude se kapalina snažit zaujmout přibližně kulový tvar, neboť koule tvoří ze všech těles nejmenší povrch. Čím větší je povrchové napětí, tím „kulatější“ je kapička této kapaliny. To se děje např. u drobných kapiček tvořících mlhu nebo u rtuti apod. Například ve stavu bez tíže, kde nepůsobí žádné další síly, by kapaliny zaujímaly tvar koule.




Povrchové napětí je výsledkem vzájemné interakce přitažlivých sil molekul nebo atomů, z nichž se skládá povrchová vrstva. Velké povrchové napětí ztěžuje proces smáčení. V rovnováze na rozhraní tří fází se většinou vyskytují tyto fáze: plynná (g), kapalná (l), pevná (s) viz. Obr. 2.1. Pak vycházíme z Youngovy rovnice:

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cdot \cos\theta \quad \text{pak} \quad \cos\theta = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lg}} \quad (2.1) [27]$$



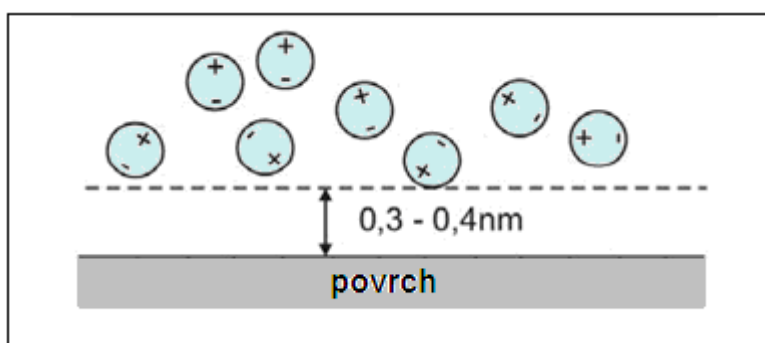
Obr 2.1 Kapka kapaliny umístěná na rovný povrch tuhé fáze [39]

Tabulka 2.1 Smáčení povrchu

	Typ smáčení	Typ povrchu
$\theta = 0^\circ$	Dokonalé smáčení 	Tuhý povrch je lyofilní (např. sklo, oxidy a hydroxidy kovů atd...)
$0^\circ < \theta < 90^\circ$	Dobré smáčení 	
$90^\circ < \theta < 180^\circ$	Špatné smáčení 	Tuhý povrch je lyofobní (např. pevné uhlovodíky a fluorované deriváty, polymery, listy rostlin)

Povrchové napětí je tedy definováno jako síla působící v povrchu kolmo k libovolnému řezu na 1 m délky. Povrchové napětí se stoupající teplotou klesá. Látky snižující povrchové napětí kapaliny se nazývají mezipovrchově aktivní, látky které zvyšují nebo mění povrchové napětí nepatrně, se nazývají mezipovrchově inaktivní.[26]

Vliv na povrchové napětí a tedy i na smáčecí schopnost budou mít všechny nečistoty a přísady adsorbující na povrchu kovu. Za smáčecí schopnost je považována schopnost pokrýt souvisle a beze zbytku celý odmašťovaný povrch a zajistit tak jeho stejnoměrné kvalitní očištění. Dobrá smáčivost podkladu je předpokladem uspokojivého čistícího procesu, kdy je povrch zbavený mastnoty a nečistot snadno smáčen vodou. „Naproti tomu znečištěný povrch je značně hydrofobní (tj. vodu odpuzující) v důsledku mastné vrstvy a podstatně zvětšuje úhel styku.“[25] Je-li hraniční plocha voda-mastnota nahrazena jinou plochou např. adsorpční vrstvou povrchově aktivní látky, mohou se molekuly vody přiblížit k částicím mastnoty a smáčet je.



Obr. 2.2 Uspořádání molekul vody při smáčení znečištěného hydrofobního povrchu. [25]

Povrchové napětí je jedním z důležitých kritérií pro dobrou adhezi nátěrů, laků, tiskařských barev, lepidel atd. na různých kovových i plastových površích. Čím je povrchové napětí vyšší, tím je adheze nátěrů lepší (až na pár výjimek) při fixaci k povrchu. Velmi mnoho plastů vykazuje nízké povrchové napětí, abychom dosáhli lepší přilnavosti musí být povrch chemicky ošetřen. Vliv na povrchové napětí kovů budou mít všechny přísady a nečistoty (tuk, olej, otisky prstů...), které jsou adsorbovány na povrchu tuhé fáze. Také je nutno přihlídnout k vlivu vad (mřížkové poruchy).



Obr. 2.3 Znáznornění adheze na ošetřeném a neošetřeném povrchu pomocí testovacího fixu [60]

Povrchové napětí je měřeno v mN/m (milinewton na metr – aktuální jednotka), obecným limitem je často uváděna hodnota 38 mN/m. Pohybuje - li se napětí pod touto hodnotou, pak bude adheze špatná, nad touto hodnotou bude adheze dobrá či uspokojivá. [60]

2.2 INTEGRITA POVRCHU

Integrita povrchu je odrazem podmínek, za kterých vzniká funkční plocha, bere v úvahu důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek. Je i statisticky doloženo, že většina poruch strojních součástí za provozu vzniká na povrchu, nebo těsně pod ním. [41] Tyto vlivy lze rozdělit na vnější a vnitřní.

Tabulka 2.2 Přehled vnějších a vnitřních vlivů ovlivňujících integritu povrchu [16]

Vnější vlivy	Vnitřní vlivy
Mechanické (provozní napětí)	Zbytkové napětí
Chemické (koroze)	Morfologie povrchu (drsnost)
Fyzikální (záření, bludné proudy...)	Materiálové a mechanické vlastnosti povrchů (tvrdost, zpevnění...)
Kombinace více vlivů (technologické procesy...)	Přítomnost povrchových a podpovrchových vad a heterogenní struktura (uhlík v litině, vměstky...)

Čím komplexněji jsou jednotlivé vlivy zahrnuty, tím reálnější dávají obraz a poskytují informace o reálném stavu povrchu. Jakost obrobeného povrchu je možné posuzovat podle následujících hledisek:

- přesnosti rozměru a tvaru,
- drsnosti a mikrostruktury,
- vlastnosti povrchové vrstvy.[16]

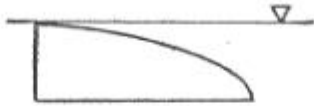
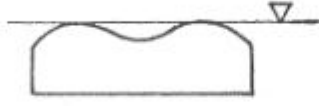
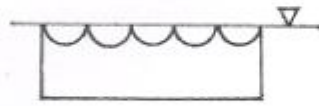
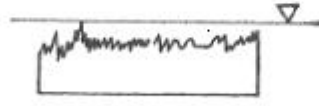
2.2.1 Mikrogeometrie povrchu

Žádný povrch není geometricky dokonale rovinný, obzvlášť pak technické povrchy. Tyto odchylky vznikají při přípravě povrchu a jsou důsledkem působení vnějších sil nebo prostředí. Proto tedy rozlišujeme tři druhy nerovností [27]:

- mimořádné nerovnosti (makronerovnosti), jedná se o trhliny, náhodné nerovnosti odlitků a výkovků, nepravidelné rýhy (A)
- vlnitost povrchu, jedná se o periodicky opakující se nerovnost, která vzniká hlavně při obrábění chvěním stroje, nástroje a obrábění součásti (B)
- drsnost povrchu (mikronerovnost), pravidelně se opakuje a je podmíněná technologickým pochodem (C)

Na mikronerovnost se ještě superponují ultramikronerovnosti, které jsou dány snahou dosáhnout nejstabilnějšího stavu krystalického povrchu (D).[27]

Tabulka 2.3 Schéma nerovností různého druhu [4]

Typ nerovnosti	Znázornění nerovnosti	Příčiny vzniku
A Tvarová nerovnost		Špatné upnutí, prohnutí obrobku, chyby ve vedení stroje, opotřebení
B Vlnitost		Chvění stroje, nástroje, nesprávné upnutí
C Drsnost periodický profil		Tvar nástroje, řezné podmínky (posuv)
C Drsnost náhodný profil		Mechanismus vzniku nového povrchu
D Strukturální změny	Nelze zobrazit	Krystalické pochody, korozní pochody
D Změny mřížky	Nelze zobrazit	Fyzikální a chemické pochody ve stavbě materiálu, napětí v krystalické mřížce

„U velkých výrobků s malým poměrem povrchu **A** k jeho objemu **V** (**A/V**), jsou fyzikální a chemické vlastnosti určeny především vlastnostmi základního materiálu. Naopak u malých výrobků s velkým poměrem **A/V** jsou jejich vlastnosti výrazně ovlivněny povrchem.“[42]

Tabulka 2.4 Oblasti povrchu [42]

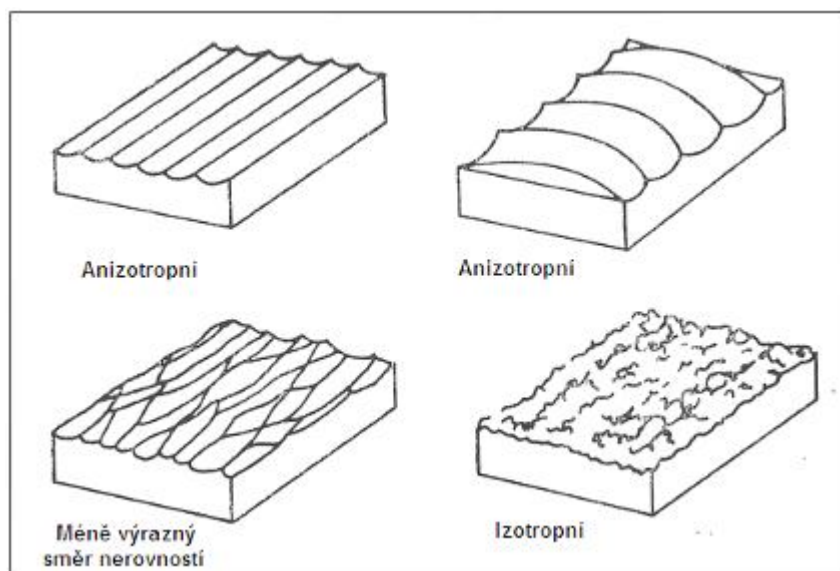
Oblast	Rozměr	Funkční ovlivnění
Horní nanovrstva	0,1 nm	Adsorbce, chemická reaktivita
Tenky film oxidace	0,1 ÷ 100 nm	Odrazivost, tření, koroze, tepelná vodivost
Vnější povrchová vrstva	0,1 ÷ 10 μm	Deformace struktury
Celková vrstva	> 100 μm	Adheze, nátěry

„Funkční vlastnosti povrchu nejsou závislé jen na vnější vrstvě, která tvoří rozhraní, ale také na oblasti směřující pod povrch. Využití charakteristik povrchu směrem do hloubky materiálu je jistým stupněm klasifikace povrchu, kterému odpovídá i rozdělení oblastí povrchu viz. Tab. 2.4.“[42] I sebejemnější mechanická příprava vede k velmi složitým jevům a ovlivňuje krystalickou mřížku do hloubky.

2.2.2 Drsnost povrchu

Drsnost a vlnitost povrchové vrstvy ovlivňuje průběh chemických a fyzikálních jevů na funkčních plochách exponovaných součástí. Tím je ovlivňována jejich životnost a funkčnost. Tvar nerovností povrchu je velmi rozmanitý a odvíjí se od technologického pochodu. Lze je rozdělit na povrchy:

- anizotropní (s výrazným směrem nerovností), soustružený povrch, válcově frézovaný,
- s méně výrazným směrem nerovností, soustružení a frézování na čisto, jemné hoblování, kuličkování,
- izotropní (bez výrazného směru nerovností), broušený, leštěný a otryskaný povrch.[4]



Obr. 2.4 Základní typy povrchů [4]

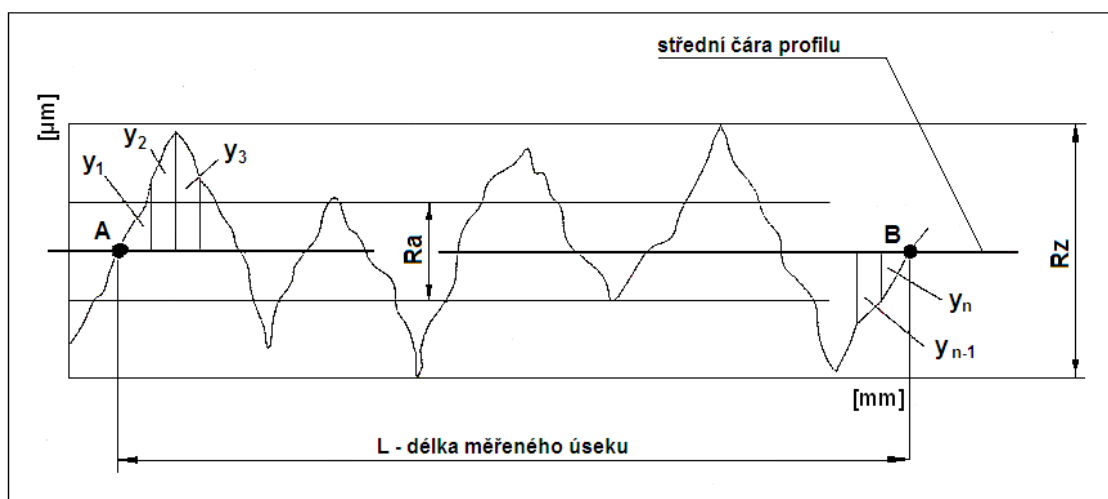
Textura povrchu se měří dotykovou metodou. Tato metoda je zatím nejrozšířenější. „Realizaci této metody zajišťuje dotkový (hrotový) přístroj zvaný profilometr.“[44] Ostrý hrot snímače profilometru převádí rozložení nerovnosti na povrchu na mechanický pohyb, který je po té snímačem převedený na elektrický signál a dále zpracovaný a interpretovaný jako číselná hodnota zvoleného parametru struktury povrchu, nebo jako grafický záznam profilu nerovnosti povrchu. Její výhodou je to, že se dá použít pro všechny typy povrchů, přesně zobrazuje geometrický profil povrchu, ale u některých měřených materiálů může dojít k poškození měřeného povrchu, což se může projevit nevhodně na výsledku měření. Na druhé straně i malá přitlačná síla snímacího hrotu může znamenat, že měření ztrácí svoji věrohodnost. „Vhodnou alternativou měření textury povrchu dotykovými profilometry jsou metody optické.“[42]

Kvalitu povrchu obvykle hodnotíme dle drsnosti jejíž parametry získáváme z profilu drsnosti, který je součástí základního profilu. Profil drsnosti je profil odvozený ze základního profilu potlačením složek použitého filtru profilu λ_c . Filtrací odstraňujeme nežádoucí složky profilu, filtr λ_c určuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti. „Hodnota filtru λ_c je rovna základní délce pro drsnost l_r (délka ve směru osy x , používaná pro rozpoznání nerovnosti charakterizujících daný profil).“ [37]

Drsnost je střední aritmetická odchylka od střední čáry profilu R_a . Každý povrch vykazuje jinou drsnost a ta je závislá na technologii výroby a povrchové předúpravě materiálu.

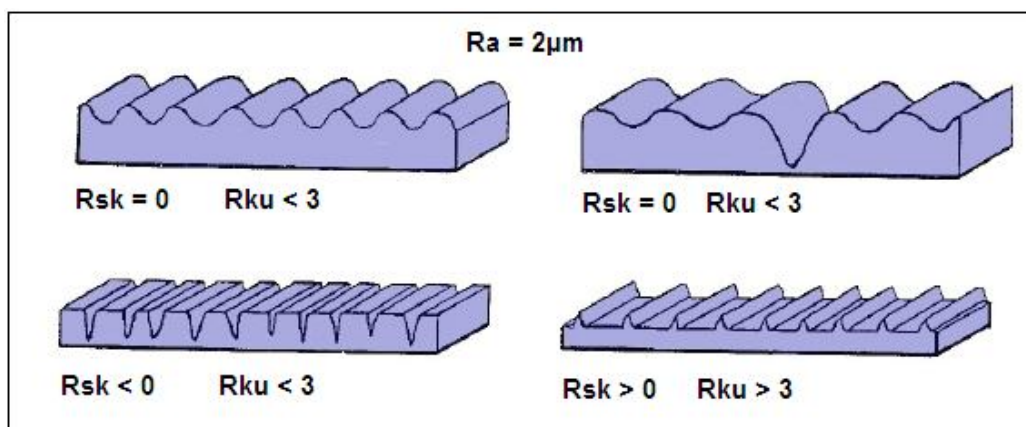
R_a – střední hodnota vzdálenosti bodů zjištěného profilu y_1, y_2 až y_n od střední čáry (viz. Obr. 2.5)

$$R_a = \frac{1}{L} \int_A^B |y| dx \quad \text{přibližně} \quad R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n} \quad (2.2) [19]$$



Obr. 2.5 Hodnocení drsnosti povrchu [19]

Parametrů drsnosti je mnoho, dělí se na výškové (amplitudové) parametry, délkové (šířkové) parametry a tvarové parametry. Všechny jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 4287. Všechny tyto parametry mají svou důležitost, povrch nelze hodnotit jen dle parametru R_a – průměrná aritmetická odchylka. Povrchy se mohou vykazovat stejnou hodnotou R_a , ale mohou mít naprosto odlišný charakter povrchu ocelového substrátu (topografie povrchu) viz. Obr. 2.6. Na tomto obrázku jsou uvedeny čtyři druhy povrchů ocelových substrátů o stejné hodnotě drsnosti R_a , ovšem tyto povrchy mají rozdílné parametry R_{sk} – součinitel asymetrie, R_{ku} – špičatost posuzovaného profilu, i velice debatovaný parametr R_z – maximální výška profilu bude rozdílný, stejně tak jako parametry R_p (největší výška výstupku profilu) a R_v (největší hloubka prohlubně profilu) a další. Tyto parametry jsou podrobněji popsány v kapitole 6.3.



Obr. 2.6 Čtyři typy rozdílné topografie se stejnou hodnotou drsnosti povrchu [46]

Povrchy, které se převážně hodnotí, jsou povrchy po technologických operacích obrábění. Přitom jsou sledovány vlivy technologických procesů, nástrojů, materiálu apod. Snahy o miniaturizaci součástí výrazně změnily hranice rozměrů nejen pokud jde o délky, ale také i o hodnocení struktury povrchu. Hlavním důvodem je nanotechnologie. Vliv této nové filozofie má svůj dopad i na výrobu. [42]

2.2.3 Zbytková napětí

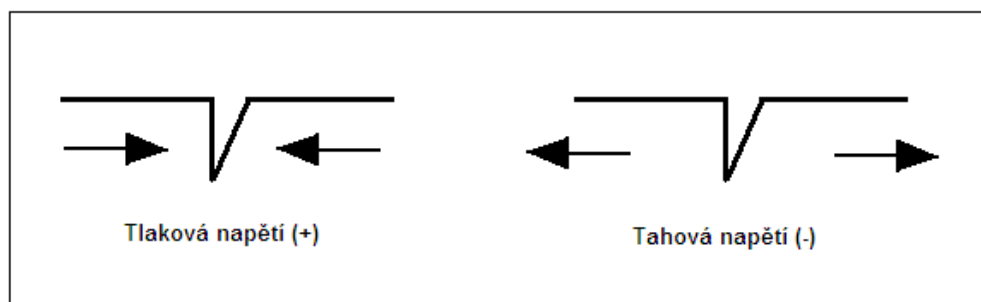
Zbytková napětí zůstávají v materiálech po výrobním procesu a působí neustále i bez vnějšího zatížení, mají velký vliv na funkčnost obrobků. „Při posuzování vlivu technologických procesů na vlastnosti povrchové vrstvy obrobku a při jeho výrobě je možné vycházet z druhu a intenzity energií, které se na jeho realizaci podílejí. Jedná se o energii mechanickou, tepelnou a chemickou. Je nutné ale brát v úvahu i vlivy metalurgické, fyzikální a také vlastností materiálu.“ [41]

Hlavní příčinou vzniku zbytkových napětí jsou:

- nerovnoměrná plastická deformace v obrobeném povrchu,
- nerovnoměrný ohřev a ochlazování materiálu, které vyvolává jeho roztahování a smršťování,
- nerovnoměrné změny struktury, vyvolané působením tepla a mechanických sil,
- chemické procesy, spojené s reakcí částic pronikajících do povrchové vrstvy.[41]

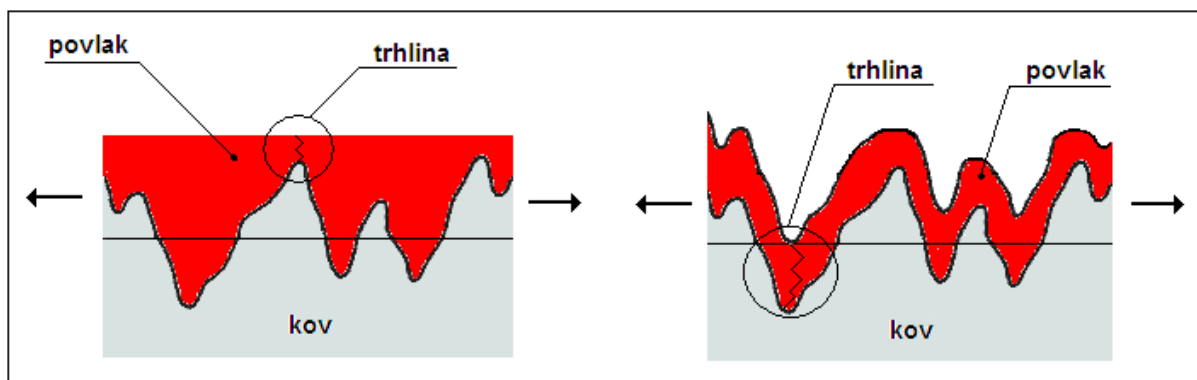
Každá technologická operace dosahuje přestavby zbytkových napětí svým vlastním způsobem jen v takovém objemu materiálu, v jakém je schopna vyvolat plastickou deformaci a tepelně jej ovlivnit. Na jakost povrchové vrstvy má největší vliv poslední operace, ale při nevhodně zvoleném sledu operací může v povrchové vrstvě zůstat zachováno ovlivnění z operací předchozích. Z hlediska běžných kontrolních metod se může povrchová vrstva jevit jako stejná, měří-li se tvrdost, drsnost a tvarová úchylna. Přitom mohou v povrchové vrstvě být různá zbytková napětí a to napětí různá co do smyslu i velikosti. [41] Tato napětí mohou

být tahová (-) nebo tlaková (+). Méně příznivá jsou tahová napětí, která způsobují otvírání povrchových vad a necelistvostí, způsobují snižování povrchové únavy. „Tlaková napětí tyto necelistvosti naopak zavírají, jsou pro životnost povrchu příznivější.“ [16]



Obr. 2.7 Tlaková a tahová napětí [16]

Výskyt tlakových zbytkových napětí by teoreticky neměl mít negativní vliv na suchou vrstvu nátěrového systému, to ovšem nemusí být pravidlem. Nátěrový systém může být náchylný k trhlinám spíše působením zbytkových tahových napětí na povrchu, ale také to nelze s přesností určit, neboť tvorba a následné šíření případných trhlin může být způsobena více faktory jako např. charakterem (drsnoti) profilu povrchu, tloušťkou suchého nátěrového systému (tenká vrstva), vlastnostmi laku (pružnost), atd.



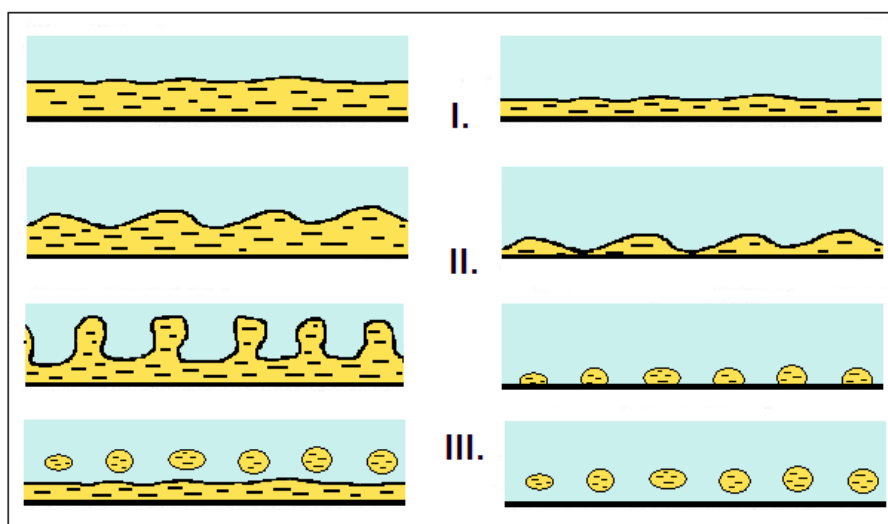
Obr. 2.8 Schéma možné tvorby trhlin při zbytkovém tahovém napětí na povrchu ocelového substrátu.

Zbytková napětí lze měřit mnoha metodami, mezi nejpoužívanější patří rentgenová difrakce (RTG difrakční metodou), metoda Barkhausenova šumu, odleptávání povrchu nebo metoda odvrtávací. Tato destruktivní metoda je založena na odvrtání otvoru do povrchu materiálu, který způsobí uvolnění existujících zbytkových napětí. Odvrtávání se provádí ve více krocích a uvolněná energie se měří v každém kroku, to umožňuje vyhodnotit hloubkový profil zbytkového napětí.

2.3 CHEMICKÉ ÚPRAVY POVRCHU

Jedná se o způsob úpravy povrchu, při kterém chemická činidla reagují s nečistotami na povrchu materiálu. Jde především o odstraňování ulpělých nečistot, tyto nečistoty jsou vázány pouze adhezními silami a jedná se o zbytky mastných látek, kovové nečistoty, zbytky brusiv a leštících prostředků. Tyto nečistoty se odstraňují chemicky např. odmašťováním. Úkolem odmašťovadel je uvolnit nečistoty jako mastnoty a oleje z povrchu materiálu a převést je do roztoku nebo emulze a zabránit jejich zpětnému vyloučení na povrch materiálu. Operace odmašťování je velice důležitá a neměla by se podceňovat. Můžeme jej rozdělit na odmašťování [27]:

- v alkalických roztocích do pH 10
- elektrolytické,
- v neutrálních roztocích,
- emulzní,
- opalováním,
- ultrazvukem,
- vysokotlaké kapalinné.
- v organických rozpouštědlech, zde musí být přísně dodrženy požadavky na VOC látky dle zákona o ochraně ovzduší č.86/2002Sb.



Obr. 2.9 Průběh odmašťování (I. – souvislá vrstva mastnoty na povrchu, II. – postupné rozrušování souvislé vrstvy mastnoty odmašťovacím roztokem, III. – emulgace a dispergace mastnoty)[19]

Pokud je povrch silně zamaštěn, je nutné odmašťování opakovat. Přítomnost mastnot na povrchu ocelového substrátu je nežádoucí a negativně ovlivňuje smáčivost povrchu, adhezi a tím i životnost nátěrových hmot. Proto je proces odmašťování nedílnou součástí přípravy povrchu před aplikací nátěrových hmot.

2.4 MECHANICKÁ ÚPRAVA POVRCHU OTRYSKÁVÁNÍM

Mezi mechanické úpravy materiálu se řadí technologie, které zbavují povrch materiálu nečistot tak, abychom získali technicky čistý povrch. Jde především o odstraňování vlastních nečistot, které jsou k povrchu kovu vázány chemisorpcí, tzn. že jsou s povrchem spojeny určitou chemickou vazbou.[27] Jsou to tzv. korozní zplodiny, především okuje a rez. Tyto nečistoty je důležité odstranit před nanášením povlaků nátěrových hmot a odstraňují se mechanickými procesy (broušení, kartáčování, omílání, otryskávání) nebo chemickými procesy (moření). Z celé řady způsobů předúpravy povrchu materiálu se otryskávání jeví jako vhodná technologie, kterou je možné připravit povrch požadované jakosti. Účelem je především:

- očistit povrch od nečistot (rez, okuje, písek, grafit),
- vytvoření podmínek pro zakotvení povlaku,
- vytvořit podmínky pro zvýšení korozní odolnosti,
- vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům,
- zlepšení mechanických vlastností (pevnost, mez únavy).[19]

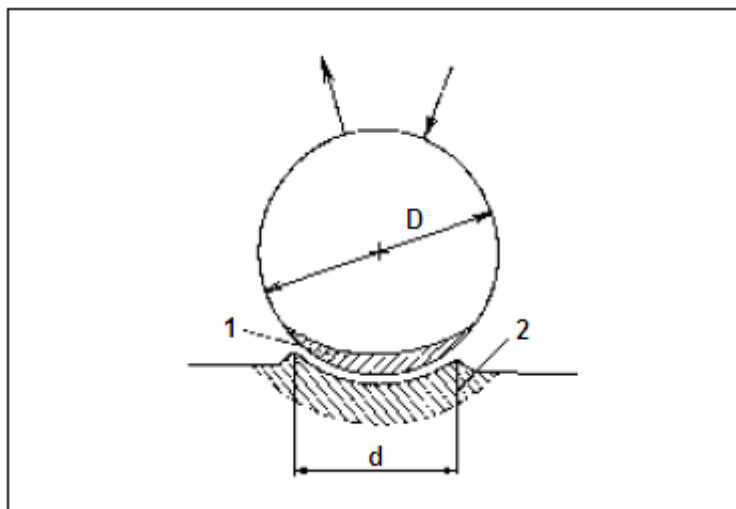
Otryskávání je způsob mechanické úpravy povrchu, při které jsou na předmět vrhána volná zrna různých materiálů, kterým je dodána kinetická energie stlačeným vzduchem, tlakovou vodou, metacím kolem nebo kombinací tlaku vzduchu a vody.[19] V praxi se tato technologie používá k odrezení, zdrsnění povrchu, hlazení povrchu, předúpravě povrchu pod anorganické a organické povlaky, odstraňování starých nátěrů, zpevňování povrchu, zvýšení únavové a korozně-únavové pevnosti a pod. Otryskávací prostředky jsou vrhány na povrch materiálu pod určitým úhlem, nesmí být však vrháno kolmo na povrch, protože by mohlo dojít k sekundárnímu znečištění povrchu zatryskáním média do materiálu (vznik vady). Pokud je úhel menší než 45° , pak může docházet k špatnému čištění. Otryskaný povrch se řadí do skupiny neorientovaných – izotropních povrchů, to znamená, že drsnost a rozestup vrcholů v navzájem kolmých směrech se výrazně neliší. Charakter otryskaného povrchu je dán tvarem otryskávacího prostředku. Otryskaný povrch se vyznačuje velkou reaktivitou s okolním prostředím, tzn. že dochází ke snadné tvorbě tenkých oxidických filmů. Proto musí být dodržena předepsána doba mezi otryskáváním a nanášením povlaku, aby bylo docíleno dobré přilnavosti.

Povrch vytvořený otryskáváním akumuluje plastickou deformaci, při opakovaném zatížení materiálu povrchové vrstvy mění rozměry, geometrické charakteristiky, strukturní vlastnosti, stav napjatosti, tepelné ovlivnění materiálu. Otryskávání lze chápat jako proces plastické deformace povrchu, resp. proces elasticko-plastické deformace kovu v celém jeho objemu. Energie vyvinutá při otryskávání je spotřebovává v procesu plastické deformace na:

- vyvolání primárních jevů - vlastní plastickou deformaci,
- vyvolání sekundárních jevů. [38]

2.4.1 Primární jevy otryskaného povrchu

Primárním jevem při otryskávání se rozumí vlastní plastická deformace otryskaného povrchu. Při otryskávání jsou otryskávací prostředky volně vrhány na povrch upravovaného materiálu, narážejí do povrchu a v místě dopadu jej plasticky deformují viz. Obr. 2.10. Při nárazu na povrch se část energie přemění na teplo a část na práci spotřebovanou k vytvoření plastické deformace. [38]



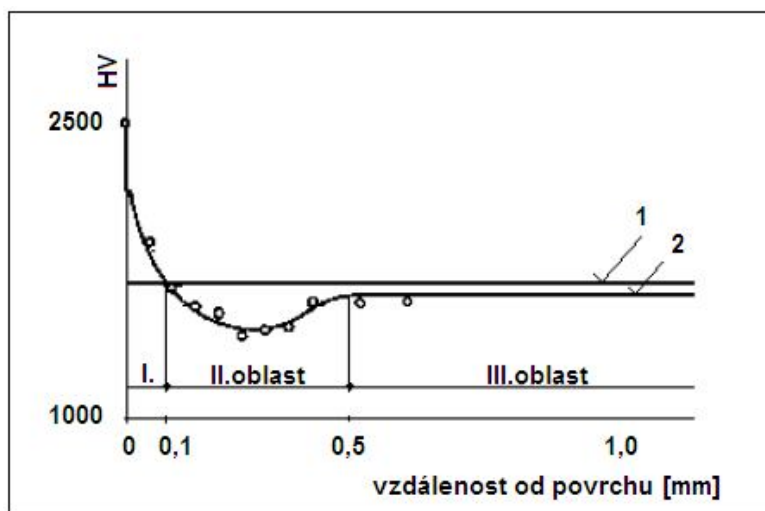
Obr. 2.10 Změny povrchu při dopadu granulátu (1 – oblast elastických deformací, 2 – oblast plastických deformací) [38]

Proces plastické deformace se uskutečňuje pomocí skluzu nebo dvojčatění. Mechanismus je závislý na krystalografické stavbě kovů a podmínkách plastické deformace. Vlastní plastickou deformaci doprovází tyto procesy:

- zpevnění základního materiálu,
- tepelný efekt,
- strukturální změnami,
- změna mechanických a technologických vlastností. [38]

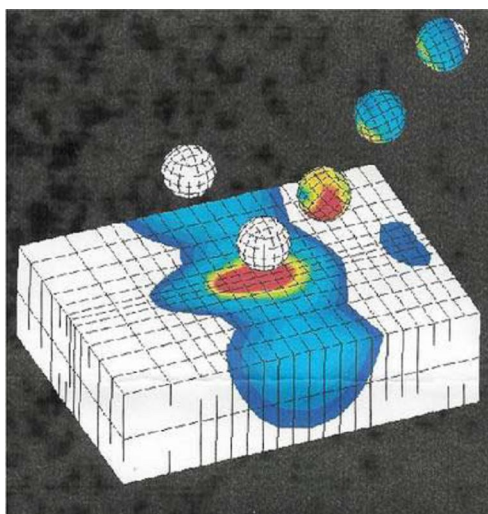
Zpevnění základního materiálu – projevuje se zvýšením pevnosti materiálu v povrchové vrstvě a nebo v celém objemu materiálu. Křivka zpevnění závisí na struktuře krystalu, orientaci, čistotě a stavu povrchu. Průběh mikrotvrdosti po otryskávání je znázorněn na obrázku níže. Křivka 2 je rozdělena do tří oblastí:

- I. oblast zpevnění (hloubka zpevnění),
- II. oblast zasáhnutá plastickou deformací,
- III. oblast neovlivněná. [38]



Obr. 2.11 Změna mikrotvrdosti v materiálu (1 – průběh mikrotvrdosti před otryskáváním, 2 – průběh mikrotvrdosti po otryskávání) [38]

Tepelný efekt – energie, která je vynaložená na uskutečnění procesu plastické deformace se z části podílí na vývinu tepla. „Teplo v místě kontaktu otryskávacího prostředku a povrchu základního materiálu vzniká transformací deformační energie při plastické deformaci v důsledku třecí práce vynaložené při daném procesu.“ [38]



Obr. 2.12 Schématické znázornění tepelného ovlivnění otryskávacího prostředku a základního materiálu při otryskávání [38]

Teplo v mezní zóně otryskávací prostředek – materiál, významně ovlivňuje procesy tření a poměry v oblasti plastické deformace. Výška teploty je ovlivněna podmínkami deformace, rozhodující je především vliv rychlosti deformace, resp. stupeň deformace. [38]

Strukturní změny po otryskávání – tyto změny jsou vyvolané spolupůsobením plastické deformace a tepelného efektu. Na povrchu ocelového substrátu dochází k rekrystalizaci, důkazem tohoto jevu je výskyt dvojčatění důsledkem rekrystalizačního žíhání. [38]

Změny mechanických a technologických vlastností – při mechanické úpravě otryskávání dochází ke změně mechanických a technologických vlastností materiálu:

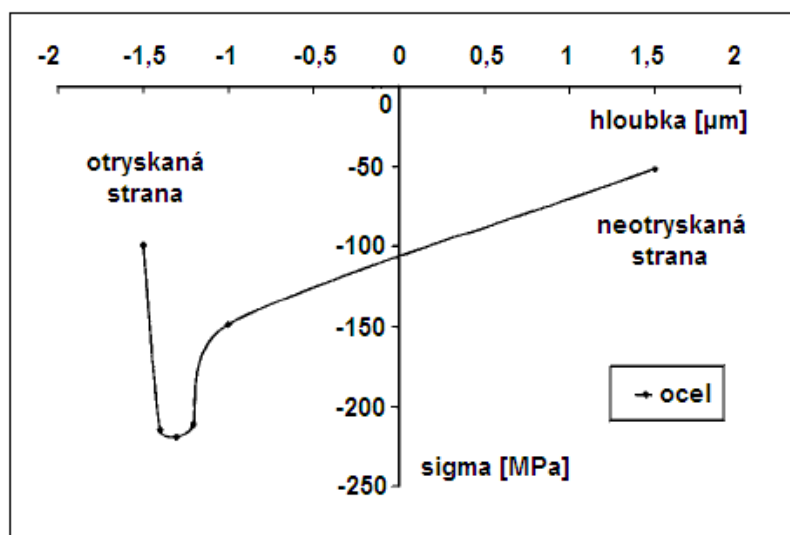
- lineárně stoupá mez pevnosti, mez kluzu a jejich poměr,
- klesá tažnost, roste mez únavy, vrubová houževnatost se téměř nemění. [38]

2.4.2 Sekundární jevy v procesu otryskávání

Výskyt sekundárních jevů na povrchu otryskaného materiálu závisí na kinetické energii letícího zrna a plastické deformaci povrchu. Mezi tyto sekundární jevy vznikající při otryskávání materiálu můžeme zařadit:

- zbytková napětí,
- změna mikrogeometrie (charakteru) povrchu,
- čistota a aktivita povrchu. [38]

Zbytková napětí – vznikají v důsledku porušení rovnovážných sil na povrchu materiálu, což vede k jeho deformaci. V určité hloubce materiálu je napětí nižší než mez pružnosti a po odlehčení se tato pružně deformovaná oblast odpruží. V plasticky deformované povrchové vrstvě dochází k vzniku zbytkového napětí. Na Obr. 2.13 je zobrazená grafická závislost zbytkových napětí vytvořená pomocí metody $\sin 2\Psi$, která zahrnuje rentgenografické metody. Průběh má plusové a minusové hodnoty ve vztahu k tlakovým a tahovým charakteristikám působení napětí v materiálu. [38]



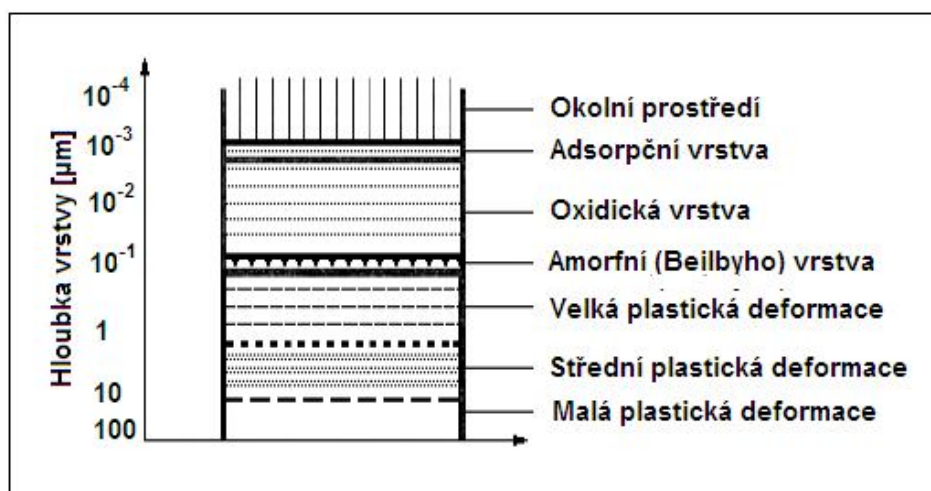
Obr. 2.13 Průběh zbytkových napětí v materiálu [38]

Změny charakteru povrchu – při otryskávání dochází k výraznější změně charakteru povrchu než při třískovém obrábění, povrch se stává mnohem členitějším. Hlavními faktory, které ovlivňují charakter otryskaného povrchu jsou: „tvar a rozměr zrna otryskávacího prostředku, stupeň pokrytí povrchu, režim otryskávání a materiálové charakteristiky základního materiálu a materiálu otryskávacího prostředku.“ [38]

Čistota a aktivita povrchu po otryskání – v místě úderu otryskávacího prostředku se základní materiál narušuje a odkrývá se nový povrch materiálu, který se vyznačuje velmi vysokou aktivitou. Na tomto povrchu dochází k rychlé chemické adsorpci plynů z atmosféry a oxidace. Na povrchu dochází k fyzikálním změnám a vzniku dvou od sebe navzájem odlišných vrstev:

- *Beilbyho vrstva* – jedná se o tenkou vrstvičku, která vyplňuje povrchové prohlubeniny. [2] „Vrstva je tvořena velmi malými neuspořádanými krystalky kovů, které vznikly rozdrčením původních krystalů v blízkosti povrchu.“ [38]
- *Plasticky deformovaná oblast* – skládá se ze dvou oblastí: vnější silně deformované vrstvy a vnitřní vrstvy s menší deformací. Vnější vrstva je rozlámaná na malé, ale soudržné úlomky jejichž orientace je nepravidelná a struktura se do hloubky kovu značně mění. [2]

Vznik vrstev na kovově čistém povrchu materiálu s mechanickým opracováním povrchem při styku s okolním prostředím je znázorněn na Obr. 2.14.



Obr. 2.14 Vznik vrstev na mechanicky opracovaném povrchu [38]

Aktivita a pasivita jsou stavy, kdy kov či slitina vykazují neodolnost nebo odolnost proti agresivnímu prostředí. Pasivita nastane vytvořením bariéry, buď adsorpci některých látek a nebo existencí tenké vrstvy sloučeniny, zvláště oxidů na povrchu kovů. [38]

2.4.3 Otryskávací prostředky

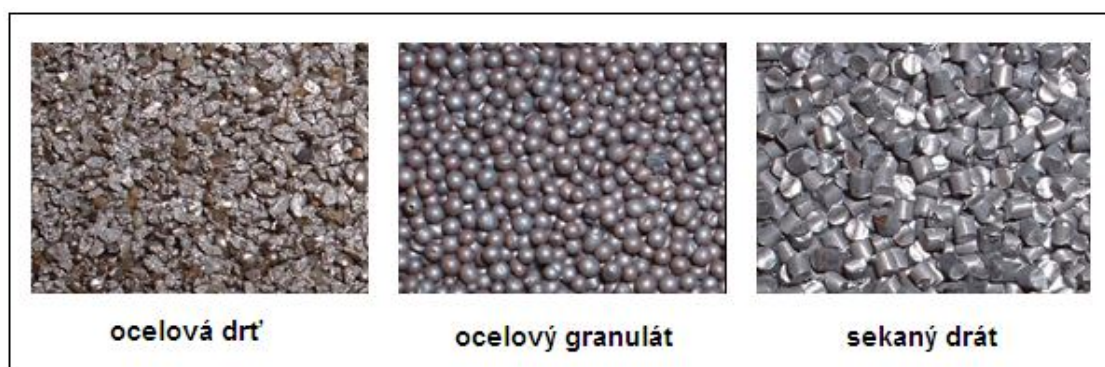
Otryskávací prostředek je nástrojem otryskávání, který má charakter zrnitého tvaru a hraje důležitou roli při mechanickém čištění povrchu materiálu. Otryskávací prostředky se volí podle materiálu a tloušťky stěn otryskávané součásti a musí splňovat tyto požadavky:

- dobrý čistící účinek,
- značná trvanlivost v provozních podmínkách,

- nízká prašnost,
- minimální vliv na opotřebení lopatek metacích strojů. [38]

Rozdělují se podle skupenství, složení, tvaru, tvrdosti a velikosti zrna. Nejčastěji používaná otryskávací média kovového původu jsou litinová a ocelová drť, ocelový granulát a sekáný drát. Z nekovových jsou nejvíce rozšířeny prostředky minerálního původu přírodní či umělé (korundová drť, sklo, měděná struska...). Podle výroby lze otryskávací prostředky rozdělit do tří skupin:

- *Ostrohranné otryskávací prostředky (drť)* - vysekávají z povrchu částice kovu a tím zbavují předmět nečistot, rzi, okují a povrch otryskaného materiálu je příslušně zdrsněn, mohou se však do povrchu "zasekávat" a způsobují tak sekundární znečištění otryskaného povrchu. Povrch otryskaný ostrohranným prostředkem není rovnoměrný, záseky na povrchu jsou různě orientované, navzájem se protínají a velká část prohlubenin a výstupků je ostrá.
- *Kulovité otryskávací prostředky (granulát)* – převážně se používají k zpevnění povrchových vrstev otryskávaného materiálu. Při dopadu tvrdých a tupých zrn nedochází k úběru materiálu, ale povrch se zpevní a očistí otloukáním. Takový povrch je pokryt malými důlky.
- *Sekáný drát* – je vyroben z ocelového drátu a je sekán na délky, které zpravidla odpovídají průměru drátu. [38]



Obr. 2.15 Příklady otryskávacích médií [45]

Druh použitého otryskávacího média ovlivňuje ve velké míře kvalitu vytvářeného povrchu. Nekovové tryskávací prostředky mají mnohem menší životnost než kovové, které nejsou tak tříštivé. Ostrohranné vykazují vyšší čistící a úběrové schopnosti, ale jsou velmi křehké, mají vysokou tříštivost a tím i malou životnost.

2.5 BROUŠENÍ

Stejně jako otryskávání se broušení řadí mezi mechanické úpravy povrchu. Jedná se o třískové obrábění povrchu nástrojem, který je opatřen brusivem. Může se provádět ručně i strojně, ruční způsob je však nejméně účinný, proto by měl sloužit pouze k dočišťování. Broušení je poněkud nákladnější mechanickou úpravou, proto se volí jen tam, kde jsou maximální nároky na jakost povrchu. Účelem broušení je dosáhnout povrchu požadované jakosti, odstranění nerovností z povrchu za účelem dosažení lesku nebo vhodného povrchu pro zakotvení povlaku. Broušení se provádí brusnými kotouči nebo pásy, které mají nalepené brusné částice. Brusné kotouče mohou být plstěné, látkové, dřevěné a používají se pro hrubování a středně jemné broušení. Pro ostrohranné a rovinné předměty se používají tuhé kotouče, kdežto na složitější tvary se používá měkčích kotoučů. Jako brusivo se používá umělý korund a karbid křemíku. Plstěné kotouče slouží k jemnému a střednímu broušení. Výsledná drsnost povrchu po broušení je závislá na volbě zrnitosti brusného nástroje. Z drsnosti $1\mu\text{m}$ a více lze dosáhnout drsnosti povrchu $0,4 - 0,2\mu\text{m}$.

2.5.1 Mechanické zatížení a vznik tepla při broušení

Broušení je technologickou operací, při které vzniká značné množství tepla za působením mechanického zatížení obráběného povrchu nástrojem. „Tato kombinace mechanického zatížení a tepla ovlivňuje samotnou strukturu povrchové vrstvy, její topografii, drsnost povrchu a jeho profil, geometrickou přesnost, vznik tepelných změn – opalů, iniciace trhlin, vznik a průběh zbytkových napětí.“[20]

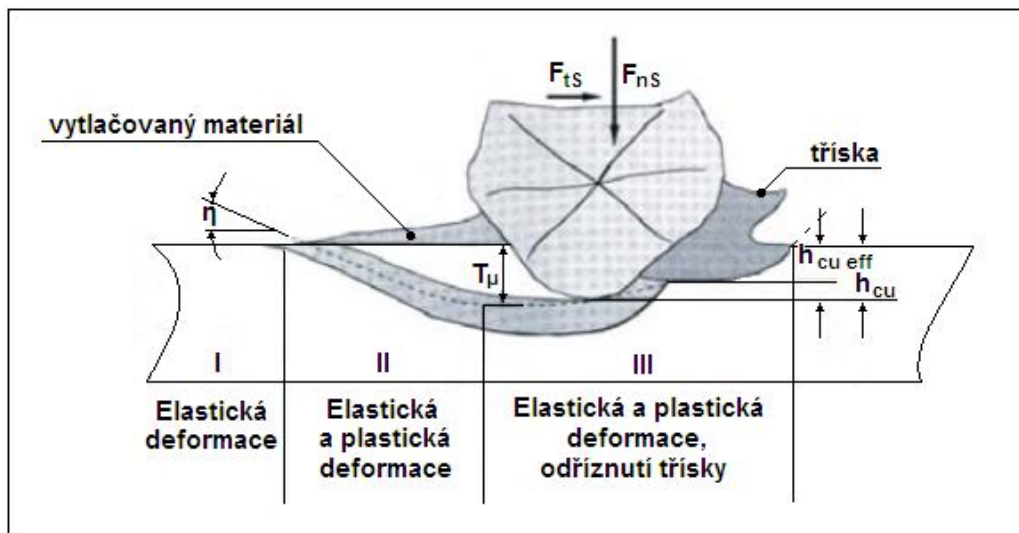
Struktura materiálu – vysoké mechanické zatížení a vznikající teplo při broušení může mít vliv na negativní změny struktury materiálu. Tyto změny jsou nežádoucí, protože ovlivňují užité vlastnosti materiálu, působí jako koncentrátoři napětí, což vede k vzniku trhlin, pitting a tím se snižují mechanické vlastnosti součásti.

Opaly a trhliny – vlivem mechanického zatížení povrchu obrobku vzniká velké množství tepla, to ovlivňuje strukturu materiálu a možný vznik opalů. Opaly jsou dle teplotních rozsahů jejich vzniku rozděleny do dvou skupin:

- nízkoteplotní,
- vysokoteplotní. [20]

Na povrchu nově vytvořené vrstvy mohou po obrábění vzniknout nové trhliny. Mohou se vyskytovat na okrajích opalů, jako teplotní přechod nebo jako příčina strukturní změny. V těchto trhlínách se koncentruje napětí, které může způsobit šíření trhlin nebo vznik nových.

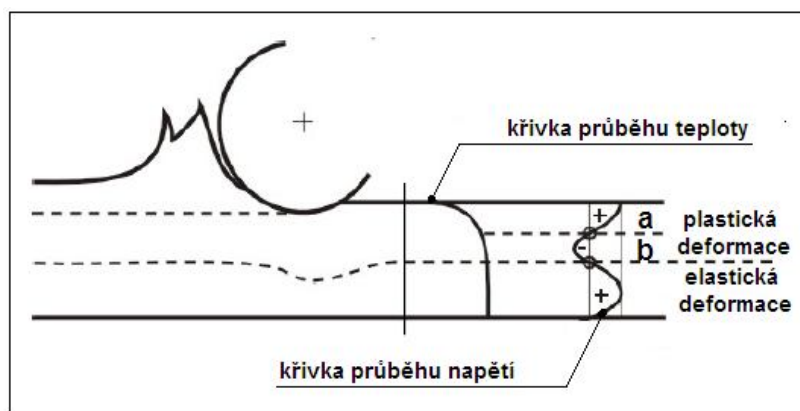
Zbytková napětí – „smysl, velikost a gradient zbytkových napětí, jsou závislé na velikosti mechanického zatížení a množství vznikajícího tepla při broušení.“ [20] Ovlivňují užité vlastnosti materiálu díky nerovnovážnému stavu napětí, které při broušení i předchozích operacích vzniklo. Vlákná povrchové vrstvy mají snahu přejít do stabilního stavu viz. Obr. 2.16.



Obr. 2.16 Deformační oblasti při broušení [20]

Vlivem mechanického zatížení a teploty dojde k rozdělení oblasti plastické deformace na dvě části viz. Obr. 2.17:

- *oblast a* – v této oblasti dochází k velkému smrštění a tudíž ke zkrácení vláken,
- *oblast b* – v této části nedochází ke smrštění vláken, vlákna jsou trvale protažena. [20]



Obr. 2.17 Průběh zbytkových napětí při broušení [20]

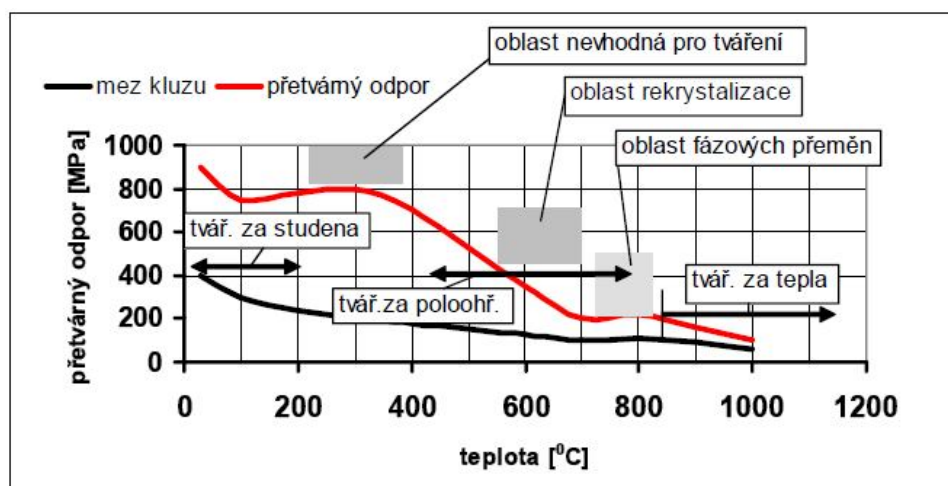
Vlákná v oblasti elastické deformace se snaží vrátit do původního stavu, což vede k vytvoření tahových napětí na povrchu materiálu. „Tento proces může vyvolat iniciaci trhlin, tvorbu pittingu a koroze.“ [20]

2.6 VÁLCOVÁNÍ

Válcování je kontinuální proces, při kterém se tvářený materiál deformuje mezi otáčejícími se pracovními válci za podmínek převažujícího všestranného tlaku.[45] Při technologickém procesu válcování jde o tváření kovů, při kterém dochází k požadované změně tvaru polotovaru. „Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál.“[40] Z hlediska teplot tváření a průběhu fyzikálně metalurgických procesů rozlišujeme 3 druhy tváření:

- *Tváření za studena* – probíhá u teplot nižších než $0,2 - 0,3 T_t$, tj. pod teplotami uzdravovacích procesů. Při tomto tváření dochází ke zvyšování vnitřní energie, hustoty dislokací, roste počet mřížkových poruch. Výsledkem těchto dějů je zvýšení pevnosti a tvrdosti, úměrně se snižuje plasticita a houževnatost materiálu. Výhodou je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch, protože nedochází k okujení.
- *Tváření za polotepla* – probíhá zpravidla u teplot v rozsahu $0,2 - 0,6 T_t$ (od cca 200°C). Dochází k zlepšení přetvárných schopností ve srovnání s tvářením za studena, snižují se přetvárné odpory a tímto tváření je možno dosáhnout speciálních mechanických a fyzikálních vlastností, přednosti a jakosti povrchu.
- *Tváření za tepla* – teploty tváření za tepla jsou nad $0,6 - 0,7 T_t$. Při tomto tváření dochází k zpevňování a uzdravování. Při tomto tváření se struktura deformačně zpevněného kovu téměř okamžitě uzdravuje prostřednictvím dynamických uzdravovacích pochodů, zotavení nebo rekrystalizace. Povrch je horší vlivem okujení.[52]

„Za hranici mezi tvářením za tepla a za studena se považuje rekrystalizační teplota (T_r), pro niž platí: T_r je cca $0,4 T_t$ (teplota tavení).“ [52] Skutečné závislosti mezi přetvárným odporem a mezí kluzu jsou ovlivněny druhem oceli. Vyznačené oblasti tváření a velikost přetvárného odporu viz. Obr. 2.18 se mění dle rychlosti a velikosti tváření.



Obr. 2.18 Obecná závislost mechanických vlastností ocelí na teplotě [40]

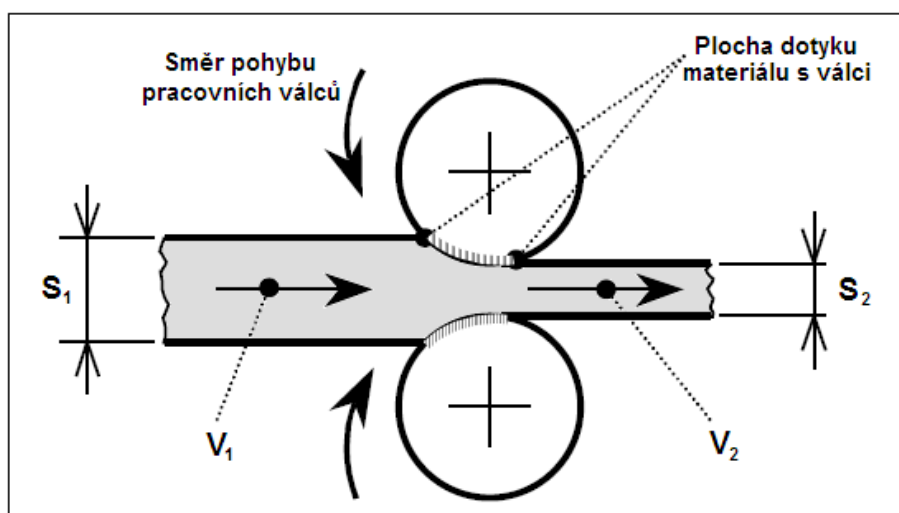
Technologie válcování spadá do oblasti objemového tváření, tedy deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému. Tímto způsobem lze vyrábět různé výrobky:

- tyče (kruhového, půlkruhového průřezu, tříhranná, čtvercová, ploché tyče, atd.),
- široká ocel (má obdélníkový průřez),
- plechy (tlusté a tenké),
- trubky (bezešvé a svařované),
- válcovaný drát (kruhový, čtvercový, šestihranný, apod.[52])

2.6.1 Válcování plechů

Plech se válcují ve válcovacích stolicích s hladkými válci z plochých předvalků. Aby bylo dosaženo potřebné šířky plechu, válcuje se nejprve napříč, po té se plech otočí o 90° a válcuje se podélně. Tímto způsobem lze dosáhnout stejnoměrné tloušťky a rovnoměrnějších vlastností materiálu.[54] Tímto způsobem lze vyrábět:

- desky (nad 6 mm),
- pásy a plechy (0,20 – 6 mm; do 3 mm – tenké, nad 3 mm – tlusté),
- fólie (pod 0,20 mm). [52]



Obr. 2.19 Schéma válcování plechu [52]

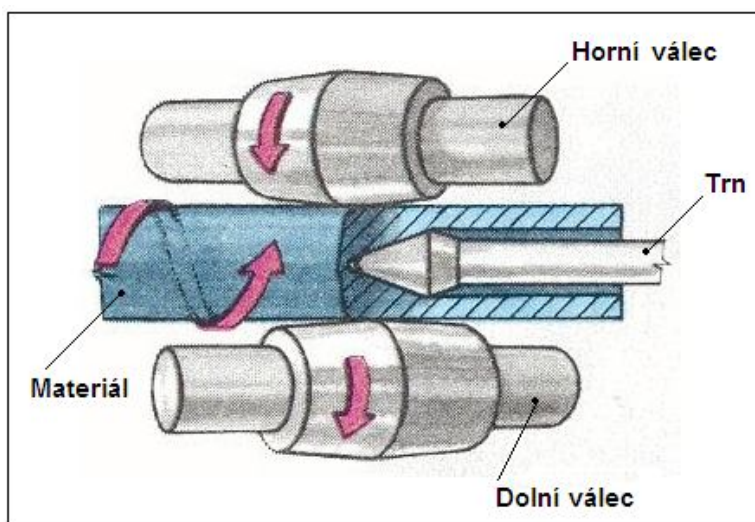
2.6.2 Válcování bezešvých trubek

Bezešvé trubky se vyrábějí především válcováním. Rozměry trubek jsou dány jejich průměrem a tloušťkou stěny. Jejich výrobu lze rozdělit do dvou základních operací:

- Výroba dutých polotovarů s velkou tloušťkou stěny pomocí kosého či příčného válcování na dvou nebo tříválcích – děrování a válcování polotovarů.
- Zpracování těchto polotovarů na trubky poutnickým nebo klasickým způsobem válcování děrovaného polotovaru (redukce průměru, prodloužení), kalibrace rozměrů. [49]

Pro výrobu bezešvých trubek lze použít několik technologických způsobů [49]:

- *Mannesmannův* – válcování na tratích s poutnickými stolicemi, jde o kosé válcování trubek.



Obr. 2.20 Princip kosého válcování trubek – Mannesmannův způsob [49]

- *Stiefelův* – válcování na tratích s poutnickými stolicemi, podélným, příčným a podélným kalibračním válcováním.
- *Spojité válcování trubek* – je výhodné z hlediska vysokých rychlostí válcování, z hlediska jednoduchého výrobního postupu, lze válcovat trubky o malé tloušťce stěn, konečná jakost povrchu je velmi dobrá.
- *Asselův* – válcování na tratích s tříválcovou stolicí, kuželové válce jsou vzájemně mimoběžné a šikmo umístěné.
- *Diescherův* – válcování na tratích s příčnými válci, slouží k výrobě trubek menších rozměrů 50 – 150 mm, s malými tloušťkami stěn.

2.7 OCHRANA NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY

Povrch kovových materiálů je před korozními činiteli chráněn různými povrchovými úpravami. „Nejpoužívanějším způsobem ochrany kovového povrchu je ochrana s využitím organických povlaků, nejčastěji nátěrů.“[17] Ty chrání kovový povrch proti korozi čtyřmi základními mechanizmy:

- *inhibiční mechanismus ochrany,*
- *bariérový mechanismus ochrany,*
- *adhezní mechanismus ochrany,*
- *elektrochemický mechanismus ochrany.*[17]

Aby byla ochrana efektivní musí být povrch materiálu před aplikací nátěru vhodně upraven, aby nebyla snížena životnost nátěru nežádoucími vlivy. Nátěry zabraňují přístupu vody a agresivních složek k povrchu daného kovu. Jde o hotový, ucelený ochranný povlak jedné nebo několika vrstev zaschlé nátěrové hmoty na povrchu předmětu. Nátěrové hmoty se dělí [19]:

- Dle charakteristických vlastností:
 - *transparentní* (lak, fermež, vytvářejí průhledný nátěrový film mající ochranné, dekorativní nebo specifické vlastnosti),
 - *pigmentované* (tvoří zpravidla neprůhledný film, emaily, barvy, tmely).
- Dle účelu použití:
 - *vnitřní* (neodolávají vnějšímu prostředí, slunce, déšť, povětrnostní vlivy...),
 - *venkovní* (odolávají venkovní atmosféře),
 - *speciální*.
- Dle použití:
 - *napouštěcí* (napouštění savých podkladů, dřevo, beton, zdivo...),
 - *základní* (první nátěr nebo první vrstva obnovovacího nátěrového systému),
 - *vyrovnávací* (tmely, slouží k vyrovnání nerovností v povrchu podkladu),
 - *vrchní* (tvoří poslední vrstvu v nátěrovém systému),
 - *maskovací* (pro maskovací účely, např. vojenská technika).
- Dle způsobu tvorby:
 - *chemickými pochody* (fermeže, olejové, alkydové, epoxidové, polyuretanové, a vypalovací nátěrové hmoty),
 - *fyzikálními pochody* (nátěrové hmoty nitrocelulózové, lihové a na bázi samotných asfaltů).

„V lakařském průmyslu se vyskytuje široká nabídka různých typů nátěrových hmot, jejichž vlastnosti jsou dány typem filmotvorné látky typem pigmentů, plniv, aditiv a dalších přísad.“ [30]

Tabulka 2.5 Vlastnosti nátěrových hmot [30]

Typ nátěrové hmoty	Vlastnosti
Olejové	Výhody: dobře odolné proti povětrnostním vlivům, chemická odolnost. Nevýhody: delší doba zasychání, málo odolné vodě a plísni.
Alkydové	Výhody: stálost lesku a barevného odstínu, dobré penetrační vlastnosti, dobrá přilnavost, dobrá odolnost proti povětrnostním vlivům, dobrá odolnost vůči otěru. Nevýhody: nízká odolnost alkáliím, nízká odolnost vůči dlouhodobému působení vody, delší doba zasychání.
Nitrocelulosové	Výhody: světelná odolnost, nejedovatost, nízká cena, tepelná stabilita. Nevýhody: ekologická zátěž – nutnost značného ředění (vysoký obsah VOC látek).
Asfaltové	Výhody: nízká cena, dobrá odolnost proti kyselinám, zásadám, roztokům soli. Nevýhody: neodolávají slunečnímu záření.
Epoxidové	Výhody: chemická odolnost, dobrá mechanická odolnost, tolerantní k přípravě povrchu. Nevýhody: horší odolnost vůči povětrnostním vlivům, dochází ke křídování.
Polyuretanové	Výhody: dobrá přilnavost ke kovům, dobrá mechanická a chemická odolnost, odolnost vůči slunečnímu záření, zejména vůči UV záření. Nevýhody: vyžadují dodržování technologické kázně, snášenlivost s ostatními pojivy musí být pro každou kombinaci předem odzkoušena.
Akrylátové	Výhody: vynikající odolnost vůči povětrnostním vlivům, dobrá odolnost vůči vodě, dobrá barevná stálost, dobrá stálost lesku. Nevýhody: zhoršená smáčivost.
Siloxanové	Výhody: výborná odolnost vůči povětrnostním vlivům, zejména vůči UV záření, odolnost chemikáliím, vysoký odpor vůči propustnosti vlhkosti a dalších korozních stimulatorů, vysoká odolnost vůči ztrátě lesku a odstínu, minimální obsah VOC látek. Nevýhody: Vyšší cena.

Pro výrobu nátěrových hmot se používá velké množství nejrozličnějších surovin. Rozhodujícím kritériem pro jejich výběr je ekologické hledisko, nátěrová hmota musí být fyziologicky nezávadná a nesmí obsahovat žádné toxické látky. Velký důraz je kladen na nízký obsah organických rozpouštědel v nátěrových hmotách. Emisní limity a podmínky provozování těkavých organických látek (VOC látek) obsažených v nátěrových hmotách upravuje vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 355/2002 Sb. a zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší. Dále také Směrnice 2004/42/ES, o omezování emisí těkavých organických látek vznikajících při používání organických rozpouštědel v některých barvách a lacích. Nepřípustné je také používání antikorozních pigmentů na bázi olova a chromu.[30]

2.7.1 Filmotvorné látky – pojiva, změkčovadla

Filmotvorné látky mají vliv na důležité vlastnosti nátěrového filmu jako je odolnost, lesk, pružnost, přilnavost, ohebnost a tvrdost. Tyto látky mají schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu. Váží dispergované částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. Liší se od sebe chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi. Filmotvorné látky se mezi sebou vhodně kombinují, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností nátěru. Pojivovou složkou mohou být přírodní pryskyřice, dnes již chemicky upravené (celulóza, kalafuna a rostlinné oleje). Moderní nátěrové systémy jsou dnes založeny na syntetických pryskyřicích viz. Tab. 2.6.

Tabulka 2.6 Rozdělení syntetických pryskyřic [17]

Rozdělení syntetických pryskyřic	
Epoxidové pryskyřice	Jsou pojivem pro dvousložkové nátěrové hmoty, tyto nátěrové hmoty mají vysokou chemickou odolnost, tvrdost a houževnatost.
Epoxyesterové pryskyřice	Patří mezi pojiva pro jednosložkové nátěrové hmoty. Používají se pro přípravu laků a emailů zasychajících na vzduchu, přisoušecích a vypalovacích.
Polyuretanové pryskyřice	Především pro dvousložkové nátěrové hmoty vytvrzované za normální teploty. Tyto nátěrové hmoty se vyznačují výbornou odolností proti mechanickému namáhání, odolností vůči vodě a chemickou odolností
Akrylátové pryskyřice	Použití především pro vodou ředitelné nátěrové hmoty.
Alkydové pryskyřice	Používají se v kombinaci s dalšími filmotvornými složkami. Určité množství alkydových pryskyřic se vyrábí i ve formě vodných disperzí pro vodou ředitelné nátěrové hmoty.
Silikonové pryskyřice	Jsou to pojiva pro vypalovací nátěrové hmoty s vynikající odolností vůči vyšším teplotám a vynikajícími elektroizolačními vlastnostmi.
Melaminformaldehydové a močovinoformaldehydové pryskyřice	Používají se pouze v kombinaci s jinými pojivy, především s alkydovými pryskyřicemi. Zvyšují mechanické vlastnosti, lesk a chemickou odolnost.

„Klíčovou složkou kvality povlaku je polymerní matrice. Vlastnosti polymeru jako jsou hydrolytická stabilita, molekulová hmotnost, teplota skelného přechodu, chemická inertnost, absorpční spektra, stupeň zesítení a čistota polymeru jsou parametry, které ovlivňují funkčnost povlaku.“[12] Některé obecné vlastnosti jsou pro názornost zjednodušeně uvedeny v Tab. 2.7. Důležité je vhodné zvolení pojiva dle účelu a prostředí pro které bude organický povlak exponován.

Tabulka 2.7 Obecné vlastnosti některých pojiv [12]

Pojivo filmotvorná složka	Vlastnosti povlaků							
	Chemická odolnost	Odolnost UV záření	Nepropustnost pro vodu	Snášlivost s pigmenty	Plnitelnost	Přilnavost k oceli	Tepelná odolnost	Ekologická nezávadnost
Alkydové pryskyřice	–	0	–	+	+	+	–	0
Akrylátové vodné disperze	–	+	–	0	–	+	–	+
Silikonové pryskyřice	+	+	+	+	+	+	+	
Epoxidové dianové pryskyřice	+	–	+	0	0	+	+	+[-]*
1-komponentní polyuretany	+	+	+	+	+	+	0	+
Chlorkaučukové pryskyřice	+	–	+	+	–	0	–	–
+ velice dobrá – špatná 0 nevýznamná								
*vysokosušinnová a vodouředitelná epoxidová pojiva jsou považována za ekologicky nezávadné								

2.7.2 Těkavé složky – rozpouštědla, ředidla

Rozpouštědla jsou kapalné organické sloučeniny, které jsou schopné rozpouštět oleje, tuky, vosky, přírodní a syntetické pryskyřice, beze změny jejich chemických vlastností. Rozpouštědla jsou obsažena i v naprosté většině vodou ředitelných nátěrových hmot. Vodou ředitelný nátěr je takový, kde obsah organických rozpouštědel nepřesáhne 10 %, ve skutečnosti se obsah těchto rozpouštědel pohybuje kolem 3 % a méně. Organická rozpouštědla jsou aromatické, alifatické a hydrogenované uhlovodíky, alkoholy (metanol, etanol), ketony (aceton) a estery. Díky svým fyzikálním a chemickým vlastnostem jsou významným nástrojem celé řady široce používaných procesů jako je disperze nátěrových hmot, tiskových barev či adhesivních materiálů. Slouží k rozpuštění pojiv při výrobě nátěrových hmot, dále k úpravě jejich konzistence v procesu aplikace. Jako rozpouštědlo je někdy uváděna i voda, která však ve většině vodou ředitelných nátěrových hmot tvoří spojitou fázi koloidního systému, v němž i pojivo tvoří dispergovanou nebo emulgovanou složku. [8] Definici těkavých organických látek uvádí novela o ovzduší č.86/2002 Sb, kterou se nově definuje těkáva organická látka (VOC). VOC jsou těkávé organické sloučeniny (jakákoliv organická sloučenina nebo směs organických rozpouštědel) složených z uhlíku, jejichž počáteční bod varu je menší nebo roven 250 °C, při normálním atmosférickém tlaku 101,3 kPa. [28] Emisní limity a použití těchto látek upravuje vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 355/2002 Sb., dále pak Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2004/42/ES.

Ředidla slouží jako prostředky pro úpravu (snížení) viskozity (tekutosti či konzistence) nátěrových hmot. Špatná volba ředidla pro daný typ nátěrové hmoty může mít za následek řadu nežádoucích efektů, které se mohou objevovat již během nanášení nátěrové hmoty nebo krátce po vytvoření nátěrového filmu. [17]

2.7.3 Pigmenty

Pigmenty jsou práškové látky nerozpustné v pojivech a rozpouštědlech, mají krycí a vybarvovací schopnost a další speciální vlastnosti např. antikorozi účinek. Tyto částice jsou rozptýleny v pojivě a jsou organické nebo anorganické. Obě skupiny mohou být přírodní či umělé. Přírodní pigmenty se připravují mletím, plavením a sušením přírodního materiálu. „Umělé pigmenty se připravují zejména srážením z vodných roztoků a tepelným rozkladem.“[26] Dávají nátěrům barevný odstín, který má důležitou funkci pro jeho estetické vlastnosti, dále je to krycí schopnost, což je schopnost nátěru zakrýt daný podklad, tvrdost, snižují stárnutí nátěrů a zvyšují jeho tepelnou a korozní odolnost. Pigmenty musí být světlostálé, nesmí měnit vlivem ultrafialového záření své barevné vlastnosti. Pigmenty s nižší světlostálostí se nehodí pro venkovní nátěrové hmoty.

Tabulka 2.8 Přehled nejpoužívanějších netoxických antikorozi pigmentů [14, 28]

Netoxické antikorozi pigmenty	
Fosforečnany a jejich modifikace	Fosforečnan zinečnatý – svými antikorozi vlastnostmi se blíží inhibičně účinným chromanovým pigmentům, fosforečnan zinečnatý – hlinitý, modifikovaný trifosforečnan hlinitý.
Boritany	Barium metaborát, borofosforečnan zinečnatý – oba typy se vyznačují vysokou hodnotou pH = 8 – 10. Z hlediska antikorozi jsou neúčinnější v počáteční fázi korozní ochrany.
Fosfosilikáty	Fosfokřemičitan vápenatý – barnatý, fosfokřemičitan vápenatý. Mají nízkou rozpustnost a jsou snášitelné se širokou paletou pojiv pro nátěrové hmoty. Působí jako katodické i anodické inhibitory.
Kovové práškové pigmenty	Práškový zinek, práškový hliník. Tyto pigmenty jsou určeny do vysoce korozně agresivního prostředí.
Molybdenany	Molybdenan zinečnatý, molybdenan zinečnatý – vápenatý, fosfo – molybdenan zinečnatý. Jsou anodickými typy netoxických inhibitorů koroze.
Iontoměničové pigmenty	matrice SiO ₂ s obsahem vápníku ve struktuře – tyto pigmenty nejlépe reagují na vlivy okolního prostředí.
Oxidy kovů	Oxid zinečnatý, spinely (oxid zinečnatý – železitý). Spinely snižují koncentraci pronikajících agresivních látek povlakem. Dokáží vázat Cl ⁻ , O ₂ , H ₂ O, NO _x , které by způsobily korozi podkladu.
Bariérové pigmenty	železitá slída skleněné vločky

2.7.4 Plniva

Plniva tvoří „kostru“ nátěrových filmů, platí pro ně stejná kritéria jako pro pigmenty, ale narušují od nich mají podstatně nižší index lomu. Funkcí plniva je zpevnění struktury filmu nátěrové hmoty, dále úprava viskozity a reologických vlastností, omezení matování, úprava mechanických vlastností filmu, omezení sedimentace, zlepšení přilnavosti a mnohé další - např. dosažení vodivosti, zvýšení koeficientu tření apod. Jako plniva, na rozdíl od pigmentů, se především používají chemické sloučeniny s dobrou až vynikající chemickou stálostí. Nejčastěji se užívají různé druhy vápenců a kříd, kaolin, živce, mastek, asbest, těživec, křemelina, slídy aj. [47]

Tabulka 2.9 Přehled plniv [17]

Přehled vybraných plniv	
Kaolin – přírodní silikát	S jeho pomocí lze docílit <i>tixotropie</i> – zabraňování usazování pigmentů a plniv v barvě, omezuje stékání při nanášení ve svislé poloze. Lístkovitá struktura kaolinu zvyšuje pevnost nátěrového filmu. Zabraňuje rozpraskávání nátěrů při venkovním použití.
Talek (mastek) – křemičitan hořečnatý	Křemičitan hořečnatý s různými příměsemi, které ovlivňují jeho tvrdost a tvar částic. Talek s vláknitou či jehlicovitou strukturou zabraňuje sedimentaci pigmentů. Zvyšuje mechanickou pevnost filmu a zamezuje rozpraskání nátěrových filmů.
Těživec – síran barnatý	Jeho výhodou je naprostá chemická netečnost, nízká spotřeba oleje a malý objem za mokra. Nevýhodou je jeho vysoká hustota, při skladování nátěrových hmot má sklony k sedimentaci.
Písek a mramorová drť	Při použití těchto různobarevných částic, nátěr získá efekt různobarevných skvrn a drsného povrchu.
Granule z barevných skel	Slouží k dosažení barevných drsných efektů, granule musí mít oválný tvar. Krátká skleněná nebo syntetická vlákna se používají jako plniva pro disperzní povlaky na fasády, zvyšuje se jimi pevnost filmu a dobře zakryjí nežádoucí prohlubně v podkladu.

2.7.5 Ostatní přísady - aditiva

Pomocí aditiv se dosahuje lepší a rychlejší dispergace pigmentů, zabraňují pění nátěrových hmot, jejich želatinaci, omezují usazování pigmentů, nedochází k tvorbě škraloupů v plechovkách, nátěrové hmoty mají dobrý rozliv atd.[17] Aditiva lze také zvýšit odolnost nátěrů proti povětrnostním vlivům a proti napadení mikroorganismy. Dávkování aditiv se pohybuje v rozmezí 0,1 % až 1 %. Používají se při výrobě fermeží olejových

a glyptalových hmot. [19] Základní složkou jsou kovová mýdla (naftenáty, rezináty) či jejich roztoky v organických rozpouštědlech. Pomocné látky, zahušťovadla, urychlovače, inhibitory.

2.8 VLASTNOSTI PIGMENTŮ

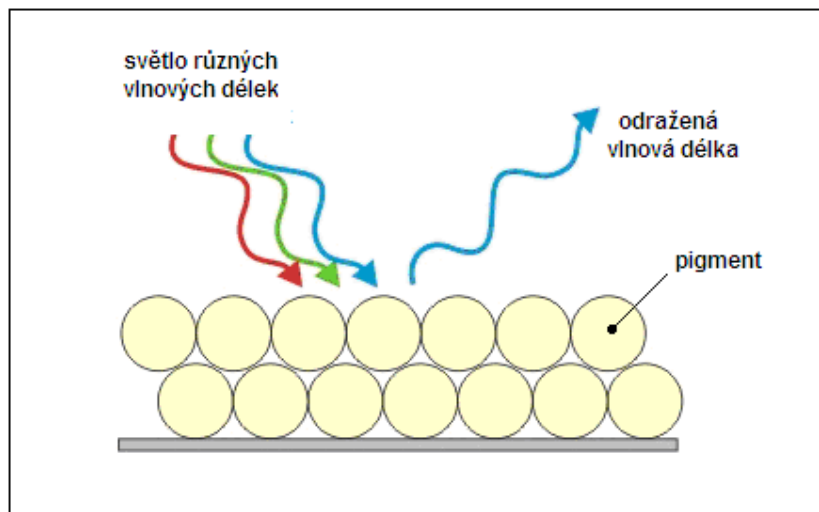
Kvalita pigmentů závisí na jejich fyzikálně-optických (krycí schopnost, barevnost), fyzikálních (struktura), chemických (obsah nečistot, reaktivita) a technologických (dispergovatelnost, velikost a tvar částic) vlastnostech. [47]

Pro jejich identifikaci se určují následující vlastnosti [47]:

- *morfologické vlastnosti* (homogenita, velikost a tvar částic, charakter jejich povrchu, štěpnost, přítomnost agregátů, krystalický tvar a soustava)
- *optické vlastnosti* (propustnost světla, barva, index lomu, reliéf, dvojlom, interferenční barvy, atd.)

2.8.1 Barevnost

Pigment je materiál, který mění barvu odráženého světla, což je způsobeno selektivním pohlcováním určitých vlnových délek. Výsledná barva je dána spektrem odražených vlnových délek světla viz. Obr. 2.21 Světlo různých vlnových délek (tj. různých barev) dopadá na pigment, který část z nich absorbuje. Výsledná barva je pak dána směsí odražených vlnových délek světla. [10]



Obr. 2.21 Vznik barvy odražením specifických vlnových délek světla.[10]

„Intenzita barvy závisí na absorpční charakteristice částice, na její tloušťce, velikosti a agregátním stavu.“[33] Izotropní látky mají absorpci ve všech směrech stejnou barvu, tzn. že se jejich barva nemění (např. při otáčení stolku při pozorování pod mikroskopem). Anizotropní barevné krystaly mají v procházejícím polarizovaném světle různou absorpci v hlavních optických směrech, to znamená, že se jeho intenzita a odstín barvy mění – pleochroismus.

2.8.2 Krycí schopnost (kryvost)

Kryvost je schopnost pigmentu zabránit průchodu světla prostředím, ve kterém je dispergován. Schopnost absorpce a rozptylu světla jsou základními optickými vlastnostmi pigmentu a určují jeho krycí schopnost. Kryvost černých pigmentů je způsobena tím, že dopadající světlo zcela absorbují. Bílé pigmenty světlo absorbují jen málo, neboť jejich částičky jsou více méně průhledné, přesto téměř dokonale zakrývají v nátěru podklad. Jejich krycí schopnost je způsobena difúzním rozptylem, což je mnohonásobný odraz a lom světla při průchodu fázovým rozhraním mezi částicemi pigmentů a pojivem. Příčinou kryvosti bílých pigmentů je vedle difúzního rozptylu světla v pojivu také vysoký index lomu. [47]

2.8.3 Index lomu η

Index lomu je poměr rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí. Čím je index lomu látky vyšší, tím se v ní světlo šíří pomaleji, látku označujeme jako opticky hustší a naopak.

Tabulka 2.10 Indexy lomu [33]

Index lomu			
nízký	střední	vysoký	velmi vysoký
pod 1,55	1,55 – 1,66	1,66 – 2,00	nad 2,00

Index lomu je velmi důležitou vlastností zejména bílých pigmentů. Čím vyšší je hodnota indexu lomu, tím má pigment vyšší kryvost. Hodnota indexu lomu roste s klesající velikostí částic, tedy úzce souvisí s optimální velikostí částic. Dále záleží i na vzdálenosti mezi částicemi dispergovaného systému, na jejich tvaru a strukturním charakteru (krystalické částice mají vyšší schopnost odrazu). [47]

Tabulka 2.11 Klasifikace velikosti částic [33]

Klasifikace velikosti částic [μm]				
velmi jemné	jemné	střední	velké	hrubé
pod 0,3	0,3 - 1	1 - 3	3 - 10	nad 10

Pro rozptyl a odraz světla na částicích pigmentů je rozhodující **relativní index lomu** η_{rel} , který je dán poměrem indexu lomu pigmentu η_{pig} k indexu lomu pojiva η_{poj} . [47]

$$\eta_{\text{rel}} = \frac{\eta_{\text{pig}}}{\eta_{\text{poj}}} \quad (2.3) [47]$$

Výsledný odstín pigmentu je ovlivněn tvarem částic:

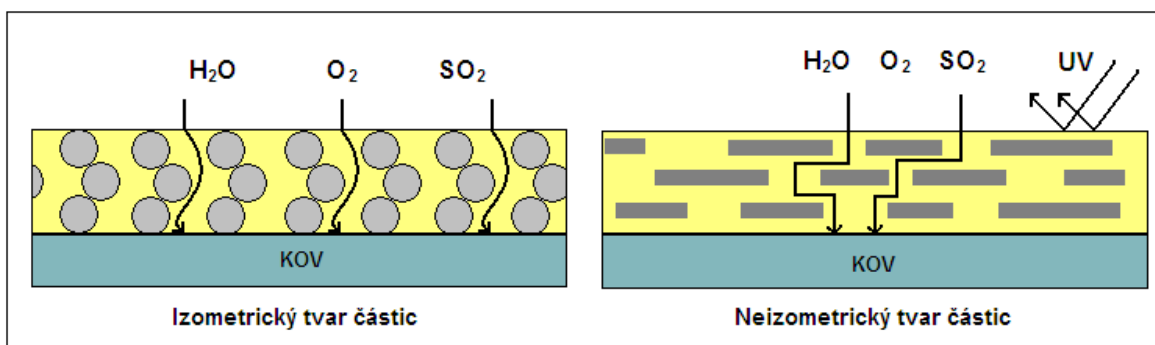
Tabulka 2.12 Rozdělení částic dle tvaru [26]

Název částice	Popis částice
Zrna	Částice zhruba symetrické, jejich poměr délky k šířce není větší než 5:1 a jejich tloušťka je úměrná šířce.
Destičkové	Částice zhruba symetrické, jejich poměr délky k šířce není větší než 5:1 a jejich tloušťka je snižena vůči šířce.
Lístkové, vločky	Částice zhruba symetrické, jejich poměr délky k šířce není větší než 5:1 a jejich tloušťka je extrémně snižena vůči šířce
Sloupcové, jehličkovité a vláknité	Poměr délky k šířce je větší než 5:1, tloušťka je podobná šířce.

Látky izotropní, ve kterých se světlo šíří všemi směry stejnou rychlostí, mají jeden index lomu. Látky anizotropní, opticky jednoosé, ve kterých se světelný paprsek dělí na dva paprsky procházející různou rychlostí, mají dva hlavní indexy lomu (ϵ , ω). Látky opticky dvojosé mají tři hlavní indexy lomů (α , β , γ). [33]

2.8.4 Bariérový efekt pigmentů a plniv

Pigmenty a plniva hrají v roli nátěrových systémů nejen roli nositele optických vlastností, ale také mohou plnit i ochrannou funkci podkladu. „Na bariérovém efektu se mohou podílet i použité inertní pigmenty a plniva.“ [11] Částice tohoto typu plniva či pigmentu musí vykazovat neizometrickou strukturu a musí odolávat vlivům okolního prostředí a nesmí reagovat s pojivem. Dobrý bariérový efekt mají částice pigmentů a plniv jako jsou spekularit – železitá slída, silikátová plniva – muskovit, mastek, skleněné vločky, metalické pigmenty s lístkovitou strukturou (bronz, hliník), apod. Při zasychání nátěrového systému destičky zaujmou polohu souběžnou s povrchem materiálu a tím přispívají k zlepšení mechanických vlastností nátěrového systému, zabraňují přímému pronikání vlhkosti, kyslíku a agresivních iontů k podkladu a dále chrání pojivo před degradací UV zářením viz. Obr. 2.22 [19]



Obr. 2.22 Schéma difuze korozního média k podkladu vrstvou povlaku plněného izometrickými a neizometrickými částicemi a odraz UV záření [11]

Na kvalitu výsledného povlaku z hlediska korozní ochrany mají kromě chemických a fyzikálních jevů vliv i samotné vlastnosti plniv a pigmentů. Jedná se o morfologii a distribuci velikosti částic. „Pigmenty jsou velice často „obaleny“ vrstvou adsorbované vody (vlhkosti), která společně s absorbovaným vzduchem může ve výsledném nátěrovém filmu způsobit nehomogenní místa. Nejedná se tedy o rozhraní pigment – pojivo, ale o fázové rozhraní pigment – vodná fáze – pojivo. Přesto, že tato vrstva může mít velice malou tloušťku, rychlost difúze korozního prostředí tímto prostorem je vysoká.“ [11]

Tabulka 2.13 Typy plniv s neizometrickými částicemi pro nátěrové hmoty [11]

Typ částice	Vlastnosti neizometrického plniva
Slídy	Mají lamelární tvar částic, který významně ovlivňuje viskozitu a thixotropnost nátěrové hmoty, omezuje usazování pigmentů a plniv. Brání pronikání vlhkosti nátěrem, omezují vnitřní pnutí a prohýbání nátěru, zlepšují odolnost proti oděru. Orientace šupinek slídy je rovnoběžná se substrátem, omezuje průnik vody a iontů (Cl^- , SO_4^{2-}).
Mastek	Zlepšuje přilnavost a pevnost v ohybu. Lamelární typy mastku se používají do základních nátěrů s antikorozními vlastnostmi. Nátěrový film plněný mastkem se neodbarvuje, ani netvoří skvrny při styku s vodou (omývací kovové předměty).
Železitá slída	Přírodní materiál známý jako spekularit či lístkový hematit. Má pravidelnou destičkovitou strukturu podobnou muskovitu
Grafit	Lze jej použít do vrchních vrstev nátěrového systému jako pigment s vysokou chemickou a světelnou stálostí. Má rovněž schopnost se uspořádat do bariérových lamelárních struktur.

2.8.5 Objemová koncentrace pigmentu (OKP)

Jde o koncentraci pigmentu v pojivu. Vypočte se ze vztahu:

$$\text{OKP} = \frac{V_{\text{pig}}}{V_{\text{pig}} + V_{\text{poj}}} \cdot 100[\%] \quad (2.4) [3, 47]$$

V_{pig} - objem pigmentu a plniva

V_{poj} - objem pojiva

S rostoucí objemovou koncentrací pigmentu kryvost roste, pak nabývá maxima a klesá. Dosáhne-li objemová koncentrace pigmentu určité meze, tzv. **kritická objemová koncentrace pigmentu** (KOKP), pak se výrazně mění většina vlastností nátěru (např. lesk a mechanické vlastnosti klesají, paropropustnost roste). Nad hodnotu KOKP nelze zvyšovat pigmentaci. Při kritické objemové koncentraci pigmentů jsou prostory mezi částicemi pigmentu a plniv vyplněny pojivem. KOKP se vypočítá např. z hodnoty spotřeby oleje [3, 47]:

$$KOKP = \frac{10000 / \rho}{100 / \rho + a / 0,93} \quad (2.5) [3, 47]$$

ρ - hustota pigmentu v g.cm^{-3} (je důležitým ukazatelem použitelnosti pigmentu)

a – spotřeba oleje při smočení ($\text{g}/100 \text{ g}$ pigmentu)

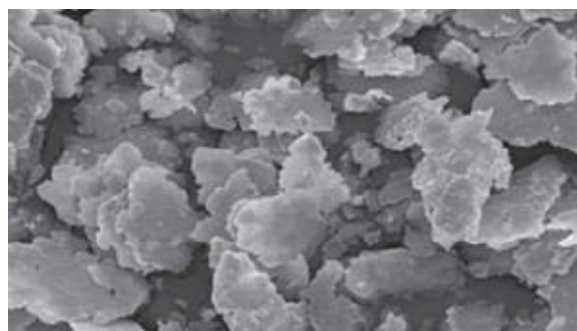
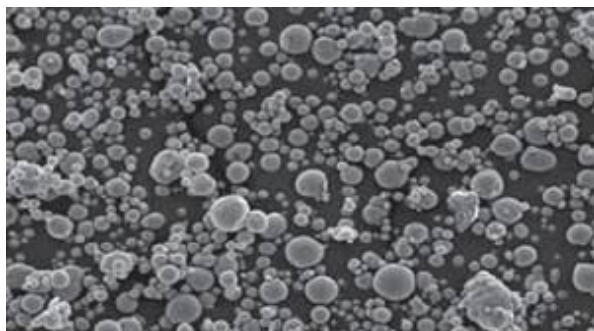
Spotřeba oleje vyjadřuje kolik gramů lněného oleje je nutno přidat na 100 g pigmentu, aby vznikla pasta požadovaných vlastností (miska zůstane prázdná, neboť pasta ulpí na tloučku). [3, 47]

2.9 ZINKOVÉ ANTIKOROZNÍ PIGMENTY

Zinkové a další netoxické antikorozní pigmenty v současné době nahrazují dříve používané toxické pigmenty např. olovo a chrom. Zinek se vyskytuje v nátěrových hmotách ve formě kovového prášku či lupínků, ochrana podkladu je pak založena na elektrochemickém procesu. Dále je do nátěrových hmot přidáván fosforečnan zinečnatý nebo jeho nejrůznější modifikace. V minulosti byl hodně používán i oxid zinečnatý, ten je v dnešní době nahrazován titanovou bělobou.

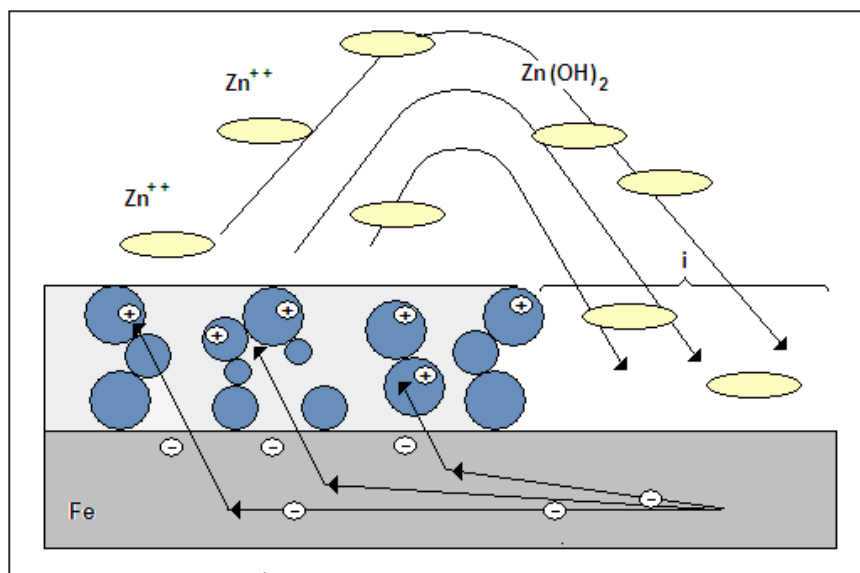
2.9.1 Kovový práškový zinek

Kovový zinek je takzvaným obětním pigmentem, protože je „obětován“ při korozním procesu probíhající mezi nátěrovým filmem a kovovým povrchem, vytváří korozní produkt a tím chrání kovový podklad. „Zinková částice má v probíhající elektrochemickém procesu roli anody, přednostně se rozpouští a ocelový podklad je touto cestou chráněn.“[13] Zinek je na povrch nanášen ve formě nátěrové hmoty. Vyskytuje se v nátěrových hmotách ve dvou tvarových typech, jako zinkový prach (průměrná velikost je $3 - 8 \mu\text{m}$) a nebo lamelární zinek (vločky) viz. Obr. 2.23. Nátěrové hmoty s obsahem zinkového prachu bývají označovány jako zinkem pigmentované či zinkem plněné nátěrové hmoty. V těchto nátěrových hmotách je obsaženo vysoké procento částic kovového zinku ($92 - 96 \%$ zinkového prachu). Obsah zinku v nátěru tedy odpovídá nejtěsnějšímu naplnění, tak jako při kritické objemové koncentraci. Tato vysoká koncentrace zinkových částic má za úkol vytvořit vodivý systém a to nejen mezi částicemi navzájem, ale i mezi částicemi a podkladem (ocelovým substrátem).



Obr. 2.23 Struktura sférického zinkového prachu a struktura lamelárního zinku (vločky) [29]

Kovový zinek je méně ušlechtilý než ocel proto vystupuje v roli obětované anody a koroduje místo ocelového substrátu, který je v tomto případě katodou. „Korozní odolnost je tedy závislá na průchodu galvanického proudu.“[24] Při elektrochemickém mechanismu antikoroze dochází k rozpouštění zinku – anody, kdežto chráněný ocelový podklad není narušován – tvoří katodu systému viz. Obr 2.24. Tato část procesu probíhá pouze za přítomnosti elektrolytu.



Obr. 2.24 Elektrochemická ochrana ocelového povrchu chráněného zinkovým nátěrem [12]

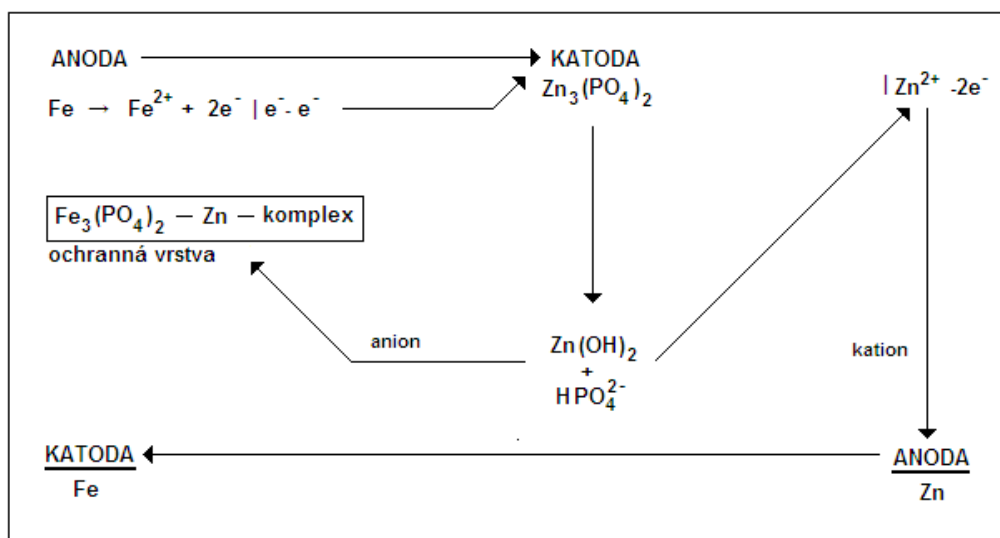
Tímto mechanismem je povrch ocelového substrátu chráněn pouze do stádia, než dojde k oxidaci povrchu zinkových částic v nátěrovém systému. Po té postupně přechází na ochranu mechanismem adhezním a bariérovým. „Kovový zinek reaguje s kyslíkem, vodou a oxidem uhličitým obsaženými v atmosféře a dochází k vzniku korozních produktů, jako jsou oxid zinečnatý, hydroxid zinečnatý a uhličitán zinečnatý.“[24] Tyto reakční produkty dokonale utěsňují veškeré póry v nátěru, tím vzniká velmi tvrdá kompaktní, bariérová vrstva s velmi dobrou adhezí a odolností k atmosférickým vlivům. Dojde-li k poškození nátěru až k samotnému ocelovému substrátu, zinkové částice poškozené místo rychle zaplní oxidačními produkty a dále jej chrání proti korozi. Rozpustné zinečnaté soli vznikající v průmyslové atmosféře, jsou postupně vyplavovány kyselými dešti, obnažují kovový zinek v nátěru a tím se proces katodické ochrany obnovuje až do doby spotřebování kovového zinku přítomného v nátěru. Ochranná funkce nátěru je tedy závislá na tloušťce vrstvy nátěrové hmoty a agresivitě okolního prostředí.

Specifické požadavky kladené na zinkem pigmentované nátěrové hmoty:

- Pojivo musí být nezmýdelnitelné vlivem alkalických zplodin oxidace samotných zinkových částic.
- Nepřipadají v úvahu vodou ředitelné nátěrové hmoty, protože nelze vytvořit na delší dobu stabilní systém zinku ve vodním prostředí. [12]

2.9.2 Fosforečnan zinečnatý $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$

Fosforečnan zinečnatý je ekologicky nezávadný antikorozní pigment. Tento pigment se svými antikorozními vlastnostmi blíží inhibičně účinným chrománovým pigmentům. Příprava fosforečnanu zinečnatého je založena na srážení zinečnatých solí v kyselině fosforečné nebo na srážení zinečnatých solí a rozpustných fosforečnanů. Získaný produkt má složení: $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Inhibiční účinek těchto pigmentů je založen na působení vlhkosti, díky níž dochází k pomalé postupné hydrolyze fosfátu, při čemž vzniká hydroxid zinečnatý a sekundární fosfátové ionty, které mají schopnost vytvářet ochranné vrstvy, především v anodické oblasti koroze viz. Obr. 2.25. Pro antikorozní účinky fosforečnanu zinečnatého je velice důležitá krystalová voda, pomocí které pigment vytváří komplexní heterokyseliny, které reakcí s s hydroxylovými nebo karboxylovými skupinami pojiva a povrchem kovu (Fe) tvoří těžce rozpustné inhibiční komplexy. [28]



Obr. 2.25 Chemický a elektrochemický mechanismus působení fosforečnanu zinečnatého v korozním prostředí. [28]

Laboratorní testy prokázaly, že fosforečnan zinečnatý samotný a v kombinaci s alkydem má určité inhibiční vlastnosti. Vyšší hodnota pH vodného výluhu nátěrového filmu pigmentovaného fosforečnanem zinečnatým má příznivý vliv na inhibiční účinek. „Základní nátěrové hmoty pigmentované fosforečnanem zinečnatým by měly mít objemovou koncentraci pigmentu (OKP) 33 až 35 %. Obsah fosforečnanu zinečnatého v pigmentové části musí být minimálně 50 obj.%.“[32] Jako filmotvorné látky jsou vhodné alkydové pryskyřice, chlorkaučuk, vinylové pryskyřice atd. Tento pigment lze použít i pro vodou ředitelné nátěrové hmoty. Nátěrové hmoty s fosforečnanem zinečnatým nejsou vhodné pro expozici v prostředích obsahující chlorid sodný a v silně kyselých prostředích.

2.9.3 Oxid zinečnatý ZnO

Oxid zinečnatý je také nazýván zinkovou bělobou, je významným pigmentem užívaným v nátěrových hmotách určených k vrchním nátěrům, jeho používání se však v poslední době nahrazuje titanovou bělobou. Jde o čistě bílý pigment absorbující UV záření čímž zvyšuje odolnost nátěrů vůči stárnutí vlivem působení světla, na světle je stálý, je snadno rozpustný v kyselinách i zásadách a není toxický. „Zvyšuje tvrdost nátěrového filmu tvorbou zinečnatých mýdel s matnými kyselinami pojiva, zvyšuje trvalost lesku nátěrového systému a v malém množství zlepšuje odolnost proti křídování. Zpomaluje žloutnutí nátěrů, a zabraňuje tak dalšímu katalyzovanému rozkladu pojiva.“[17] Hodí se pro pigmentaci vrchních nátěrů vystavených přímým vlivům povětrnosti v čistém ovzduší. Je však náchylný na vymývání dešťovou vodou z povrchové vrstvičky nátěru. K rychlému rozrušení povrchové vrstvičky nátěrového systému dochází v průmyslovém prostředí znečištěném spaliny a v prostředí chemických objektů. Zinková běloba je známá svými fungicidními vlastnostmi (proti-plísňový efekt), proto se osvědčuje v nátěrech vystavovaných prostředím, v němž jsou poškozovány plísněmi např. potravinářský průmysl.

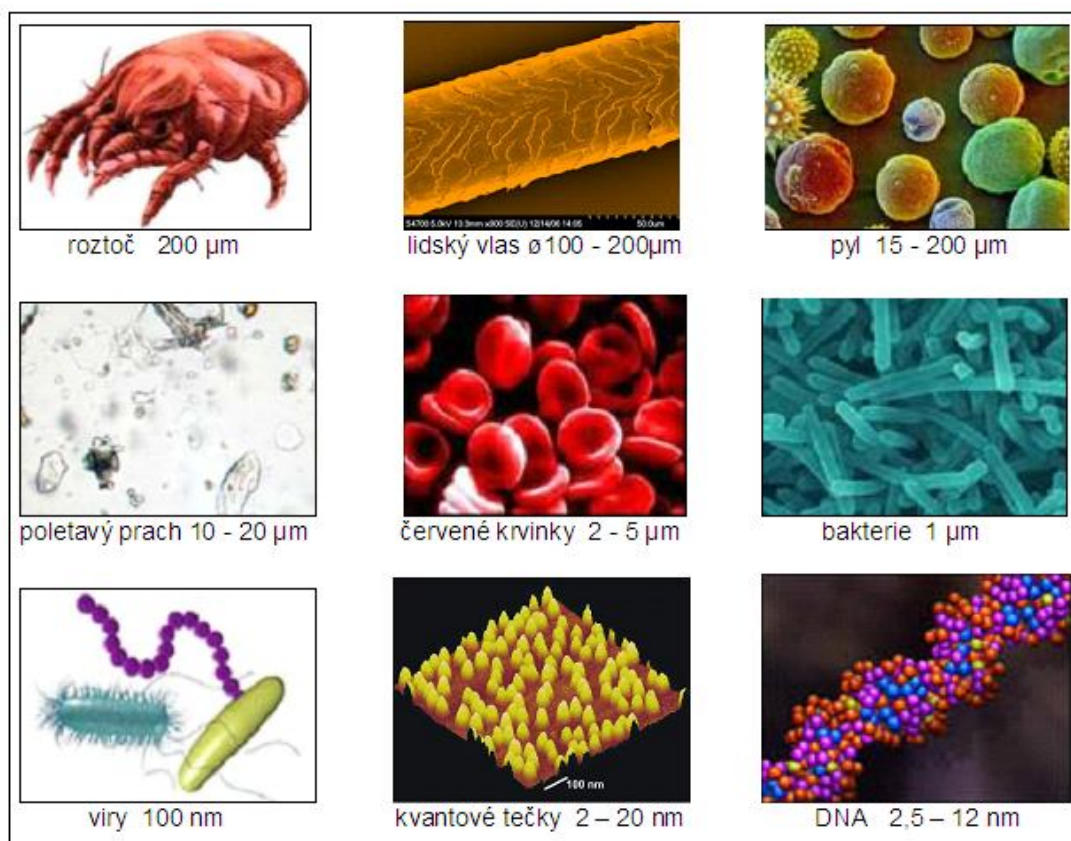
2.10 NANOTECHNOLOGIE A NANOMATERIÁLY

Předpona „nano“ představuje jednotkovou předponu vyjadřující $1 \cdot 10^{-9}$ násobek základní fyzikální jednotky (metru). Pro představu: „Lidský vlas má průměr 0,1 - 0,2 mm, tedy 100 – 200 μm , hrubé částice prachu 20 μm , buňky červených krvinek jsou velké přibližně 5 μm , tloušťka jednotlivých vláken asbestu nepřesahuje 3 μm , jemné částice sazí nebývají větší než 2 μm , velikost většiny bakterií je asi 1 μm , virů okolo 100 nm, barevná vrstva oleje na kaluži je silná přibližně 50 nm, takzvané kvantové tečky jsou velké 2 - 20 nm, rozměr molekuly DNA se pohybuje v rozmezí 2,5 - 12 nm, průměr molekuly fullerenu C₆₀ činí právě 1 nm, kdybychom molekulu methanu vložili do koule, její průměr by byl asi 0,22 nanometru a atomů vodíku by se do jednoho nanometru vešlo přibližně deset.“ [15]

Nanotechnologie zahrnuje různé obory nanovědy a nanotechnologie, které se zabývají studiem vlastností, chování a vytvářením struktur o velikosti $1 \cdot 10^{-7}$ až $1 \cdot 10^{-9}$ m alespoň v jednom rozměru. Konstrukčními prvky nanotechnologie jsou molekuly a dokonce i samotné atomy. [1] Nanověda je studium hmoty na atomové a molekulární úrovni, kde se vlastnosti výrazně liší od vlastností při větších rozměrech.[48]

Nanočástice, nazývaná také nanokrystalem či kvantovou tečkou, je částice z krystalického materiálu o rozměru cca 1 nm do cca 100 nm alespoň v jednom směru. Nanokrystaly leží na rozhraní mezi krystalickou hmotou a molekulami (obsahují často jen stovky atomů). Vyznačují se řadou specifických vlastností odlišných od velkorozměrových (objemových) krystalů. Tyto vlastnosti se navíc mění spolu se změnou velikosti nanokrystalu. Nanočástice se vykazují větším měrným povrchem než částice v mikrorozměrech.

Např. 1 g nanočástic bude mít větší měrný povrch než 1 g částic v mikrorozměrech. Čím je částice anizotropnější tím je měrný povrch větší. [54]



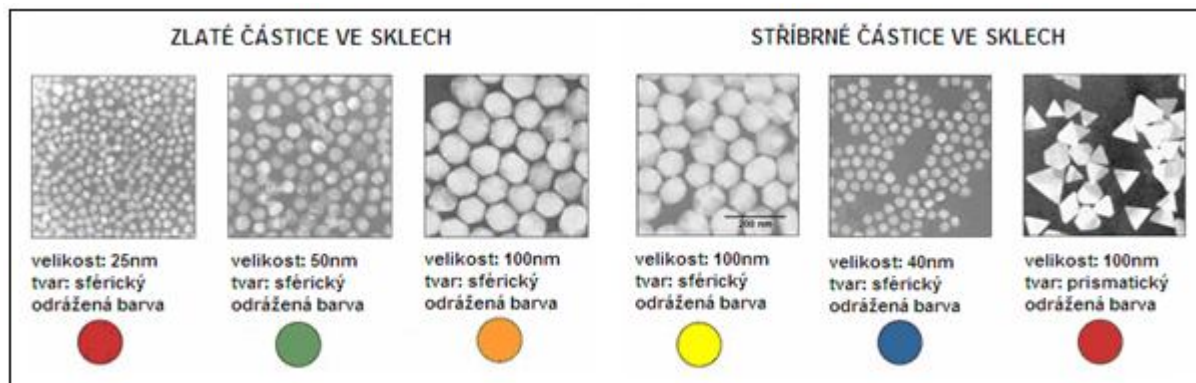
Obr. 2.26 Přehled subjektů v mikrorozměrech a nanorozměrech [66]

Další zajímavou charakteristikou je obrovský nárůst poměru plochy povrchu k objemu částic nanomateriálu (počet atomů vytvářejících povrch nanočástic je nepoměrně vyšší než počet atomů uvnitř částice). Tento poměr velmi silně ovlivňuje většinu chemických a fyzikálních vazeb na hranicích zrn v materiálu. Rozdílné jsou také vazby nanočástic se základní hmotou kompozitních materiálů. Nakonec, chování nanočástic se již neřídí zákonitostmi běžné fyziky, chování atomů je komplikovanější a řídí se kvantovou fyzikou a kvantové jevy vedou k naprosto novým možnostem. I když dnes víme o vlastnostech atomů téměř vše, prozatím víme málo o tom, jak se chovají jejich seskupení velikosti nanočástic a jak vznikají jejich někdy neočekávané vlastnosti. [54]

2.10.1 Nanočástice zlata Au a stříbra Ag

Již kdysi středověcí umělci používali nanotechnologické postupy aniž by o tom věděli. Používali malé částičky zlata a stříbra k zabarvení skla pro kostelní vitrážová okna. Ve starých vitrážích jsou zlaté nanočástice, jednoduché kuličky o průměru 25 nm. Při takových rozměrech se zlato již neleskne zlatě a mění své vlastnosti. Elektrony na povrchu kmitají synchronně a pohlcují modré a žluté světlo, červené světlo má delší vlnovou délku, odráží se od kuliček a prochází sklem.[58] Stříbrné nanočástice ve skle dávají oknu jasně žlutou barvu.

V dnešní době lze připravovat nanočástice mnoha různých velikostí a tvarů s různými vlastnostmi. Větší zlaté kuličky mají zelenou či oranžovou barvu, menší ze stříbra jsou modré. V Institutu pro nanotechnologie, který je součástí americké Northwestern University, byly vyrobeny i trojúhelníkové stříbrné částice o straně 100 nm, které jsou červené. Závislost výsledné barvy na velikosti částic najde své uplatnění např. v medicíně. [58]

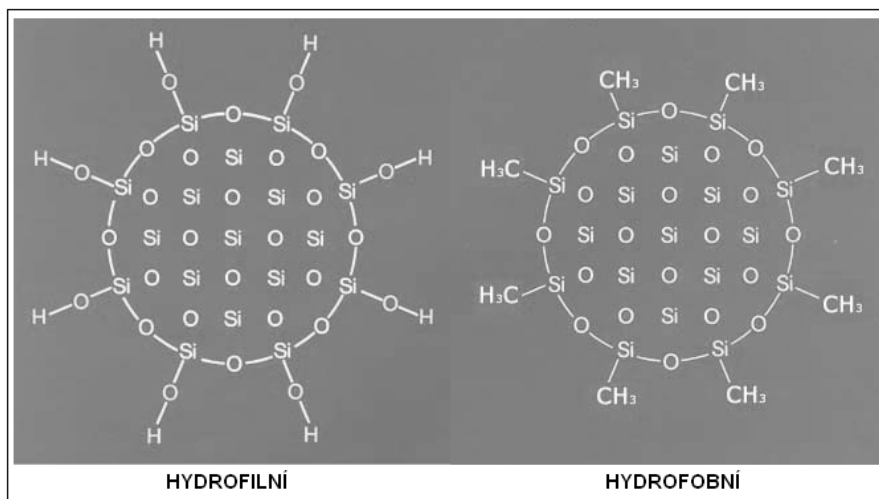


Obr. 2.27 Zlaté a stříbrné nanočástice [58]

Nanočástice stříbra jsou také známe pro své antimikrobiální účinky, předpokládá se, že v jeho přítomnosti dochází k denaturaci disulfidových vazeb v buněčných membránách bakterií. Funguje podobně jako peroxid vodíku, který je v hubení bakterií velice účinný. Pro tyto vlastnosti lze nanostříbro aplikovat v mnoha různých oblastech: lékařské přístroje, textil, klávesnice počítačů, automobilový průmysl, sportovní předměty, kosmetika, nátěry podlah a zdí aj. Tato antibakteriální aktivita stříbra je závislá na velikosti a tvaru nanočástic stříbra.[48]

2.10.2 Nanodisperzní struktura SiO₂

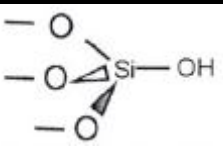
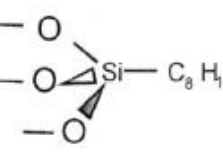
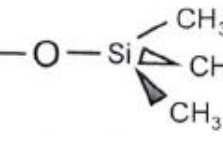
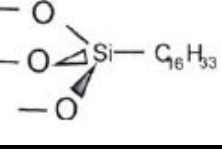
Tato nanodisperzní struktura SiO_2 je na bázi aerosilu. Koloidní nanočástice SiO_2 nanesené na sklo, nebo jiný podkladový materiál vytvářejí po vysušení vrstvu v nanorozměrech, která je hydrofobní a odolává teplotám do 400 °C. Na základě SiO_2 jsou pro lakařský průmysl vyráběny různé typy aerosilů. [25]



Obr. 2.28 Chemická struktura aerosilu [36]

Na základě aerosilů lze měnit reologické vlastnosti nátěrových systémů. Je-li aerosil hydrofilní pak se váže na kov, naopak hydrofobní aerosil se váže do organiky tedy do nátěrového systému. Výsledky zkoušek vlastností povlaků s různými typy aerosilů uvedených níže v tabulce ukázaly, že nejlepší vlastnosti povlaku prokázal Aerosil R 805. Zvyšuje tixotropnost povlaku a umožňuje získat povlaky s tloušťkou suché vrstvy 150 μm . [25]

Tabulka 2.14 Typy vyráběných aerosilů v Ruské federaci pro použití do nátěrových systémů [36]

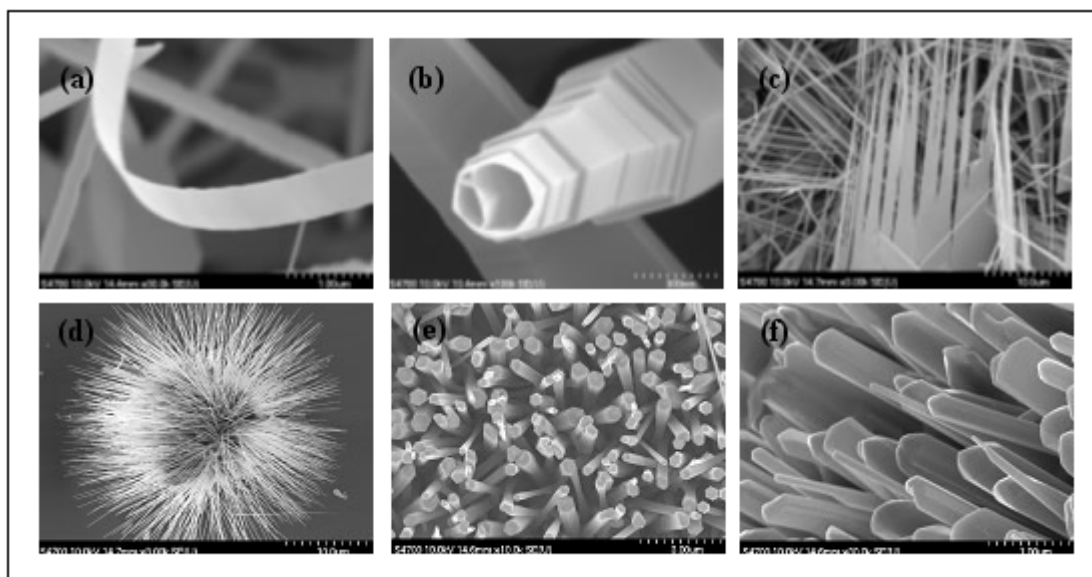
Technické typy aerosilu				
Název	Vlastnost	Chemická vazba	Název chemické vazby	Velikost [nm]
Aerosil 300	hydrofilní		Amorfní oxid křemíku	7
Aerosil R 805	hydrofobní		Oxid křemičitý modifikovaný oktylsilanem	12
Aerosil R 812	hydrofobní		Oxid křemičitý modifikovaný trimetylsilanem	7
Aerosil R 816	slabě hydrofobní		Oxid křemičitý modifikovaný hexadecylsilanem	7

V rámci výzkumu inhibitorů koroze jsou studovány různé typy chromátů a fosfátů, které se adsorbují a formují na povrchu kovů do ochranné vrstvy, která má vliv na změnu energie aktivace korozního procesu. Trend vývoje je tvorba nanovrstvy těžce rozpustných komplexů vázaných k povrchu chemickými vazbami. K takovýmto inhibitorům koroze patří voděrozpustné inhibitory obsahující amino a hydroxidové skupiny. [25]

2.10.3 Nanočástice oxidu zinečnatého ZnO

Tyto částice patří mezi velice intenzivně zkoumané látky v oboru nanotechnologie. ZnO krystaluje v šesterečné Wurtzitové struktuře. [63] Nanokrystaly lze připravit různými způsoby, např. fyzikálně, chemicky, termicky, laserově atd. Nanočástice ZnO mají specifické vlastnosti, které předurčují jejich použití v různých sférách průmyslu např.: v medicíně, kosmetice, v průmyslu pryže, keramiky, textilním, barev aj. Tyto nanočástice mají vynikající antibakteriální účinky a vynikající stabilitu, dobrou chemickou stabilitu a biokompatibilitu.

Další výhodou je, že nepotřebuje ke své aktivaci UV světlo. Má vynikající schopnost chránit před složkami UV světla (UVA a UVB). [43, 48]



Obr. 2.29 Nanostrukturní obrazce ZnO: a) nanopásky, b) nanotuby, c) nanohřebeny, d) nanostruny, e) nano tyčinky, f) nanokordy [64]

ZnO se používá jako inhibitor koroze v nátěrových systémech. Důležitým faktorem je poměr plniva k pojivu P/P, tento poměr se mění s ohledem na velikost částic ZnO. U částic v mikro rozměru je doporučený $P/P = 1$ a u částic v nanorozměru je $P/P = 0,3$. Dosavadní studie prokázaly zlepšení korozních vlastností polyuretanových nátěrových systémů zvolením optimálního množství oxidu zinečnatého.[63]

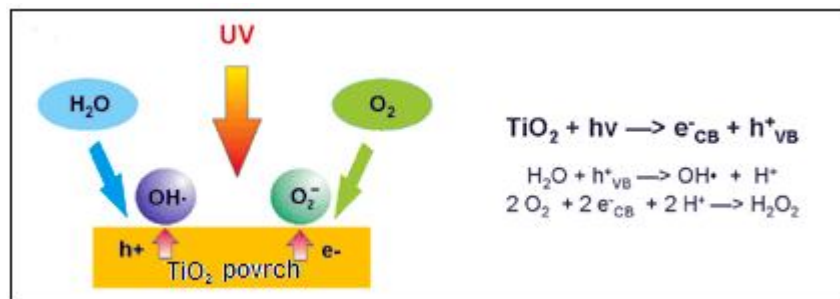
2.10.4 Fotokatalytické nanočástice oxidu titaničitého TiO_2

Oxid titaničitý má dvě nejběžnější krystalické formy rutil a anatas. Rutil, je stabilní při nižších teplotách, je známý jako bílý pigment, tzv. titanová běloba, která se průmyslově vyrábí a používá již dlouhou dobu. TiO_2 (rutil) je široce využit v nátěrovém průmyslu jako bílé barvivo. Částičky o velikosti 10 nm mají schopnost rozptýlit viditelné světlo tak, že dává bělost, jas a neprůhlednost. Bílé barvivo rozptyluje nebo ohýbá světlo silněji a to způsobuje tento odraz. Zasáhne - li denní světlo bílý pigment a odrazí se, pak se film jeví jako neprůhledný, bílý a zářivý. TiO_2 maximalizuje kryvost, zlepšuje sílu odstínu a vzrůstá trvanlivost.

Anatas je stabilní při nižších teplotách, vykazuje vyšší fotoaktivitu, používá se v suspenzích a tenkých vrstvách.[64] Nanokrystalický anatas se svými specifickými vlastnostmi se začíná rozvíjet teprve v současnosti. Jde především o tyto vlastnosti [57]:

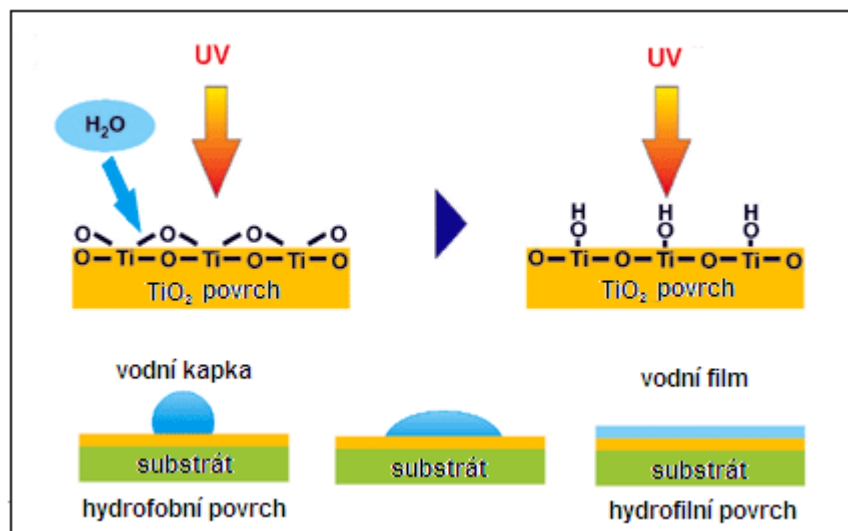
- **Fotokatalytická aktivita** - umožňující působením ultrafialového záření ($\lambda < 390$ nm) degradovat na povrchu částic TiO_2 veškeré organické struktury, včetně mikroorganismů. Na obrázku níže je zobrazen děj založen na pohlcování

světelných kvant polovodičovou elektronovou strukturou TiO_2 , což vede ke vzniku dvojic kladných a záporných nábojů. V přítomnosti vody a kyslíku se tyto částice na povrchu transformují na vysoce reaktivní radikály (OH^\bullet a O_2^\bullet), které následně atakují organické látky a mikroorganismy obsažené v okolním vodném roztoku popř. plynné fázi.



Obr. 2.30 Schéma fotokatalytické aktivity anatasu [53]

- Fotokatalyticky indukovaná superhydrofilita - neozářený povrch anatasu má hydrofobní charakter. Vysrážená vodní pára na něm tvoří oddělené kapičky, které rozptylují světlo, a tím vytvářejí neprůhlednou vrstvu. Působením UV záření se povrch anatasu stává vysoce hydrofilním tedy vodní kapičky se na něm spojí a vytvoří na něm dokonale průhledný molekulární film, po kterém další voda snadno stéká, viz. Obr. 2.31



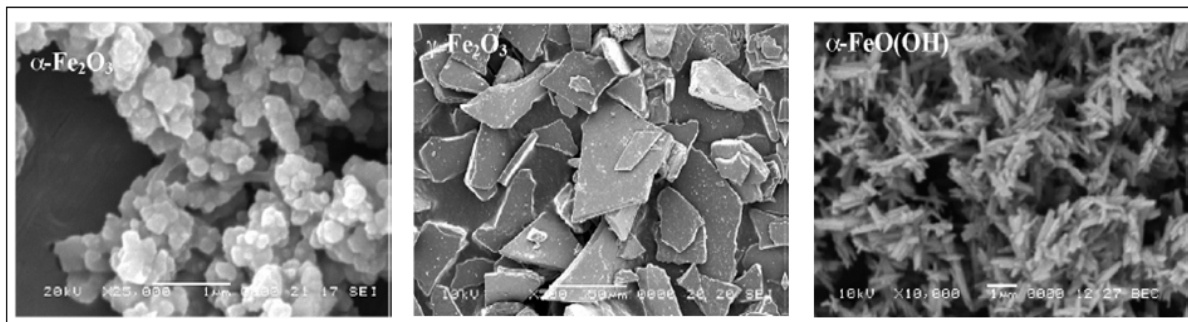
Obr. 2.31 Schéma fotokatalyticky indukované superhydrofility anatasu [53]

Díky kombinaci těchto dvou vlastností mají vrstvy tvořené nanočásticemi anatasu na světle samočisticí schopnosti a desinfekční účinky. Dochází k oxidativní mineralizaci usazených organických sloučenin a mikroorganismů, ale také plynných škodlivin obsažených v ovzduší. Díky vysoce hydrofilního povrchu je snadnější odstranění prachových částic. Kromě samočisticích a hygienických povrchových úprav exteriérů (fasády domů, střechy, okenní skla, vozovky a chodníky, betonové a kovové konstrukce, aj.) existuje i řada dalších

aplikací např. v automobilovém průmyslu, medicíně, textilním a potravinářském průmyslu.[53]

2.10.5 Nanočástice oxidů železa

Oxidy železa se vyskytují na povrchu ocelového materiálu jako nežádoucí prvky, které se snažíme chemicky nebo mechanicky z povrchu odstranit hlavně před aplikací povlaku. Ale dnes už mají i významnou úlohu v mnoha průmyslových aplikacích.



Obr. 2.32 Oxidy železa [26]

Nanočástice Fe, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 a FeO se staly téměř strategickým materiálem moderních nanotechnologií. Jejich vysokou tvrdost, chemickou a termickou stabilitu, lze totiž kombinovat s unikátními magnetickými, elektrickými, optickými, katalytickými či sorpčními vlastnostmi nanočástic jednotlivých strukturních forem. Nanočástice oxidů železa mohou být využívány jako plynové senzory, magnetická záznamová média, katalyzátory řady průmyslově významných chemických reakcí, nanopigmenty, v elektronice v oblasti ferrofluidních technologií nebo při magnetickém monitorování archeologických oblastí. V medicíně a bioaplikacích nabízí největší perspektivu nanočástice oxidu železitého, především $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. „Díky vhodné kombinaci rozměru částic, magnetických a povrchových vlastností mohou být tyto využívány jako kontrastní látky při zobrazování metodou magnetické rezonance, jako magnetické nosiče léčiv, při léčbě nádorových onemocnění metodou hypertermie nebo v biomagnetických separačních procesech.“ [65]

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je **studium vlivu drsnosti ocelového substrátu na vlastnosti povlaků plněných malými částicemi**. Tato práce je zaměřena zejména na tenké povlaky plněné malými částicemi fosfátu zinku. Antikorozní pigment fosforečnan zinečnatý je přidáván do transparentního nátěrového systému na bázi alkydové pryskyřice v mikrometrických či nanometrických rozměrech. Tento nátěrový systém je bez obsahu volně těkavých organických látek (*VOC látek*). Podíl plnění je vypočten pomocí teoretického výpočtu uvedeného v této práci a jednotlivé nátěrové systémy jsou aplikovány na pět různých ocelových substrátů s rozdílným charakterem povrchu, drsnosti povrchu, čistotou, atd. Je známo že částice v mikrorozměrech mají jiné vlastnosti než částice v nanorozměrech, proto nelze dopředu odhadnout, jak se tyto částice budou chovat v nátěrovém systému, jaký budou mít vliv na jeho fyzikální či mechanické vlastnosti, nebo jaký bude mít vliv opracování a následná drsnost povrchu na adhezi a korozní odolnost těchto tenkých vrstev, to je řešeno v této disertační práci.

Tato práce je zaměřena zejména na studium povrchů ocelových substrátů:

<u>Bez mechanické úpravy:</u>	- válcovaný za studena
	- válcovaný za tepla
<u>Mechanicky čištěné:</u>	- otryskávání
	- broušení
<u>Chemicky čištěné:</u>	- odmašťování

Na studovaných površích bude provedeno:

- Stanovení čistoty a povrchového napětí.
- Analýza chemického složení povrchu ocelového substrátu.
- Měření drsnosti povrchu a rozvinuté délky povrchu ocelového substrátu.
- Aplikace tenkých vrstev nových nátěrových systémů plněných malými částicemi.
- Studium vlivu drsnosti povrchu ocelového substrátu na tenké filmy plněné malými částicemi.
- Studium vlastností nátěrových systémů plněných malými částicemi.
- Studium adheze nátěrových systémů plněných malými částicemi.
- Studium vlivu zbytkového napětí na tenké vrstvy transparentních nátěrových systémů plněných malými částicemi.
- Korozní odolnost nátěrových systémů plněných malými částicemi.

4 METODY ŘEŠENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Zkoušky prováděné na podkladu očištěném mechanicky a chemicky před aplikací povlaku

- Hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 – *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zrezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků.*
- Stanovení prachu na ocelovém povrchu dle ČSN EN ISO 8502-3 – *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepící páskou.)*
- Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287 – *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu.*
- Stanovení profilu povrchu dle ČSN EN ISO 8503-5 – *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů – Část 5: Určení profilu povrchu páskou metodou repliky.*
- Stanovení povrchového napětí vzorků.
- Fotodokumentace povrchu ocelového substrátu.
- Chemická analýza povrchu ocelového substrátu.
- Měření zbytkového napětí povrchu ocelového substrátu magnetoelastickou metodou.

Zkoušky prováděné na aplikovaném povlaku

- Měření tloušťky nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808 – *Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového systému - Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky.*
- Zkouška přilnavosti mřížkovou metodou dle ČSN EN ISO 16276-2 – *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez.*
- Fotodokumentace povrchu transparentního nátěrového systému.
- Nanoindentační zkoušky.
- RTG fluorescenční analýza - měření homogenity povrchové úpravy.
- Vrypová indentace.
- Korozní zkoušky dle ČSN EN ISO 9227 – *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou.*

5 CHAREKTERISTIKA VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ

5.1 CHARAKTERISTIKA PODKLADOVÉHO MATERIÁLU

Pro tyto experimentální práce byly použity vzorky plechu o rozměrech 150 x 100 x 3 mm s označením KOSMALT – E 300T, dodané firmou VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s. Vzorky byly mechanicky očištěny otryskáváním na stupeň čistoty Sa 2¹/₂ dle ČSN EN ISO 8501-1. Dále byly dodány vzorky vyrobené z válcovaného plechu. Mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno níže v tabulkách.

Tabulka 5.1 Mechanické vlastnosti oceli KOSMALT - E 300T

Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu Re [MPa]	300 - 450
Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	350 - 550
Tažnost A ₅ [%]	28

Tabulka 5.2 Chemické složení oceli KOSMALT - E 300T

Chemické složení								
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Al	N	Ti
obsah[%]	0,07	0,21	0,03	0,013	0,01	0,042	0,006	0,06

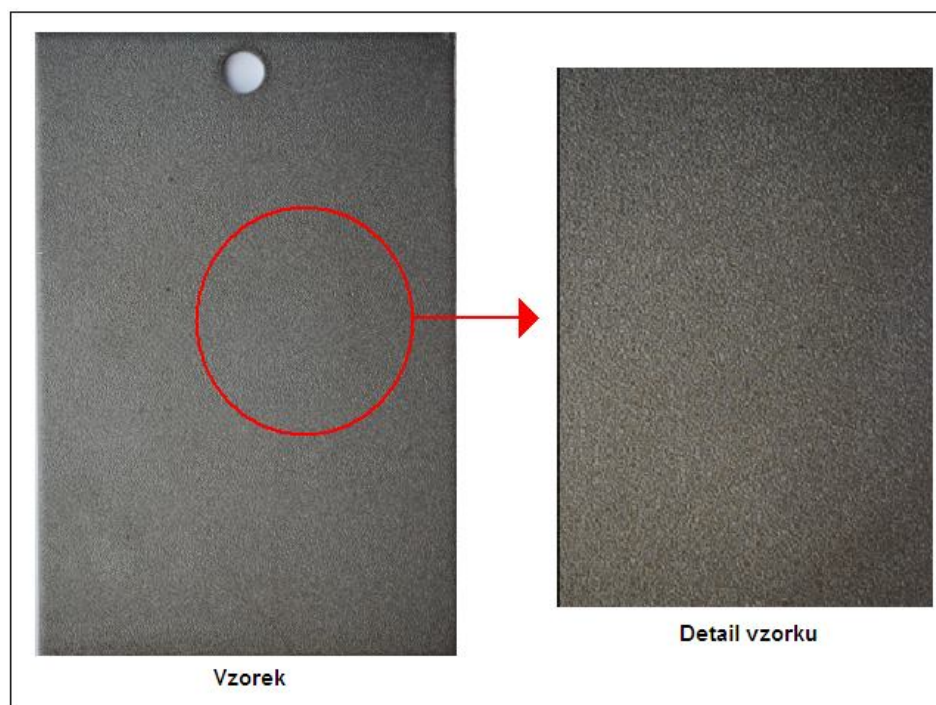
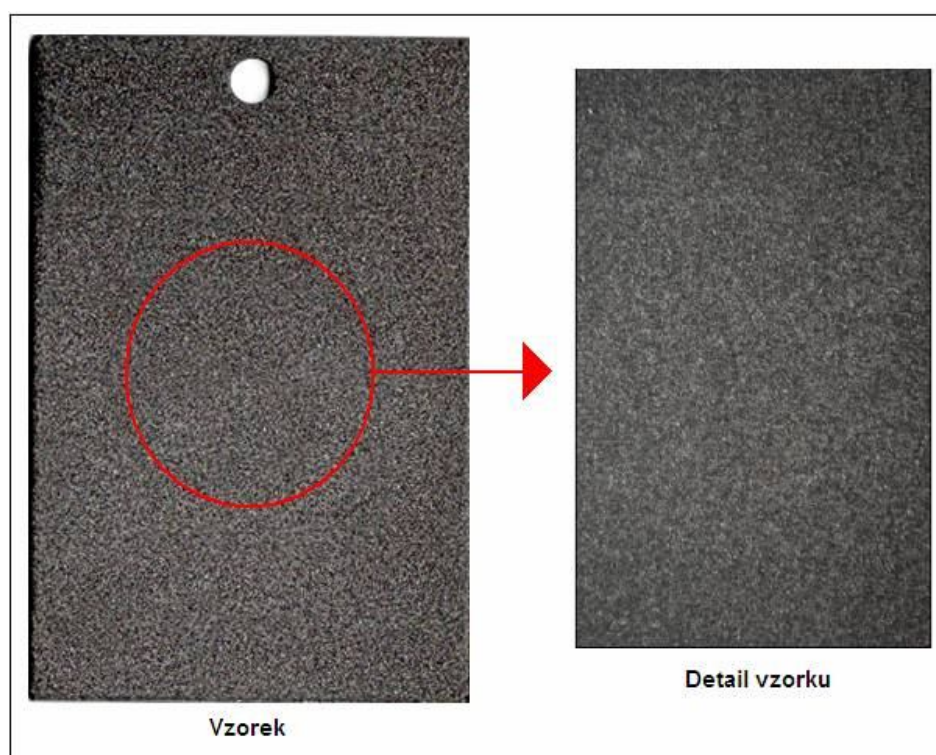
Vzorky byly dodány ve stavu:

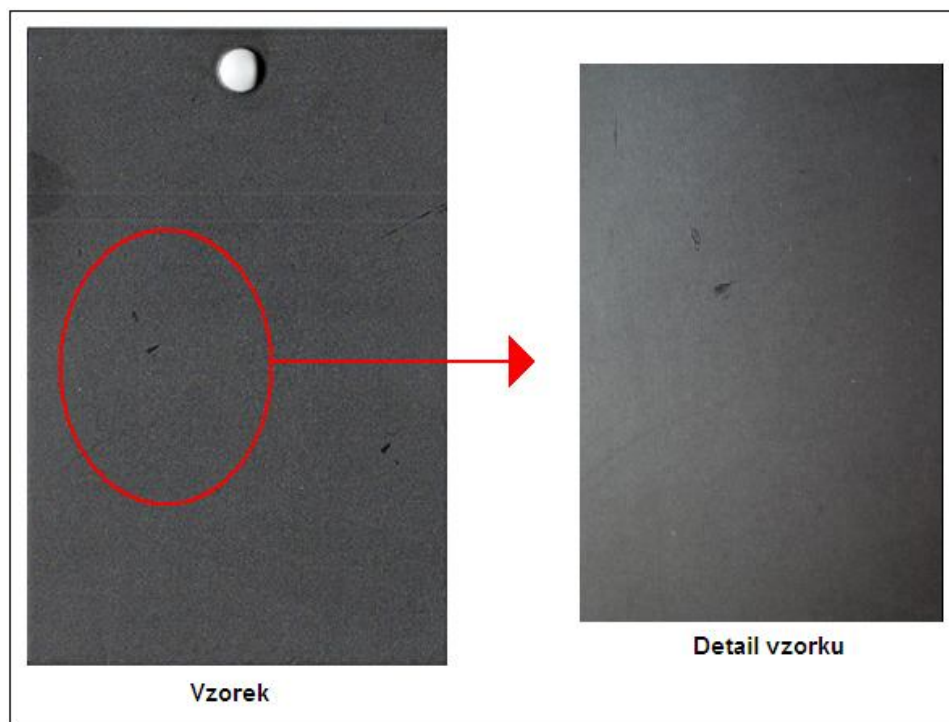
- Otryskaném - Ocelová drť GP 18
- Otryskaném - Měděná struska 4VVD-4
- Neotryskaný – válcovaný plech za studena

Povrch vzorků byl zamaštěn, proto jej bylo nutné před aplikací nátěrového systému odmastit. Vzorky byly odmaštěny pomocí ekologického odmašťovacího přípravku SIMPLE GREEN. Ředící poměr odmašťovací lázně byl 1:5 (1 díl Simple Greenu : 5 dílů vody z vodovodního řádu). Odmašťování probíhalo za studena po dobu 10 minut, po té následoval oplach po dobu 2 minut a sušení v sušičce po dobu 5 minut při teplotě 100°C.

Tabulka 5.3 Parametry lázní (čas, teplota, pH)

Parametry odmašťovací lázně (Simple green + voda)	Parametry oplachové lázně (voda)
t = 10 min	t = 2 min
T = 21,7°C	T = 19,6°C
pH = 9,13	pH = 6,32

Fotodokumentace dodaných vzorků**Obr. 5.1** Vzorky otryskané ocelovou drtí GP 18**Obr. 5.2** Vzorky otryskané měděnou struskou 4VVD-4



Obr. 5.3 Vzorky válcované za studena

Dále byly dodány standardní testovací kovové panely – Q-LAB CORPORATION pro nanášení barvy a laků. Tyto vzorky byly dodány firmou Denas Color a.s., která je odebrá z firmy LABIMEX CZ s.r.o. Jedná se o vzorky s označením S46 o rozměrech 102 x 152 x 0,8 mm, vzorky jsou vyrobeny z nízkouhlíkové oceli s označením dle firmy LABIMEX CZ s.r.o. CRS SAE 1008/1010 a jsou dodávány ve stavu očištěném a odmaštěném. Mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno níže v tabulce.

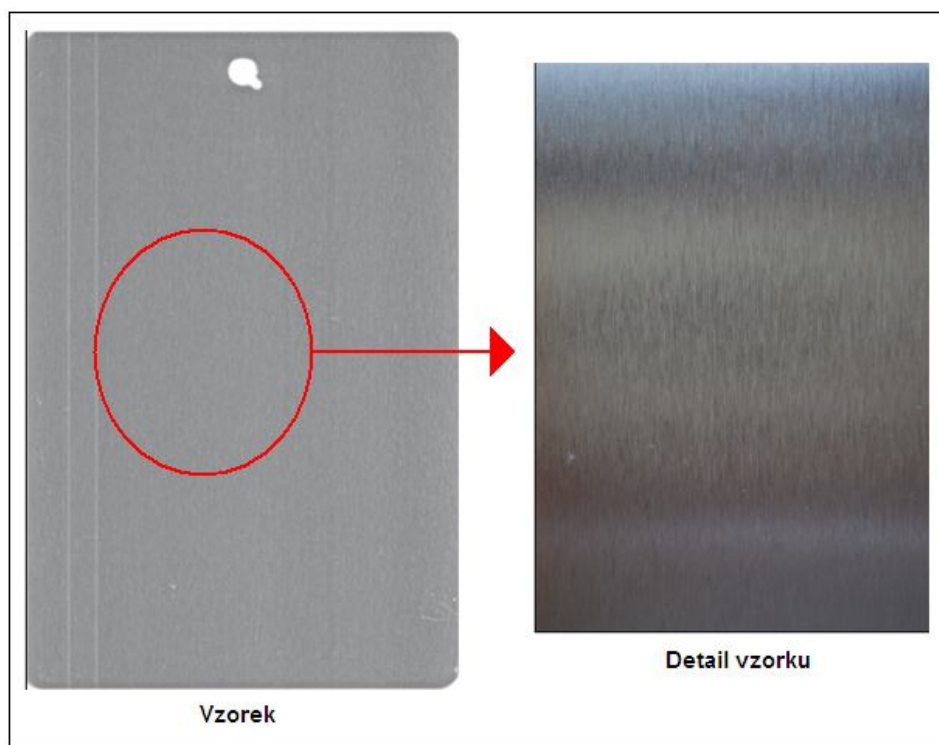
Tabulka 5.4 Mechanické vlastnosti nízkouhlíkové oceli CRS SAE 1008/1010

Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu Re [MPa]	173
Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	275
Tažnost A ₅ [%]	30

Tabulka 5.5 Chemické složení nízkouhlíkové oceli CRS SAE 1008/1010

Chemické složení				
Prvek	C	Mn	P	S
obsah[%]	0,13 max	0,25-0,60 max	0,04	0,05

Fotodokumentace dodaných vzorků



Obr. 5.4 Vzorek broušený standard

Dále byly dodány vzorky za tepla válcovaných trub o rozměrech 100 x 150 x 6,3 mm vyrobeny z materiálu S355J2H. Tyto vzorky byly dodány firmou VÁLCOVNA TRUB TŽ, a.s. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny níže v tabulkách.

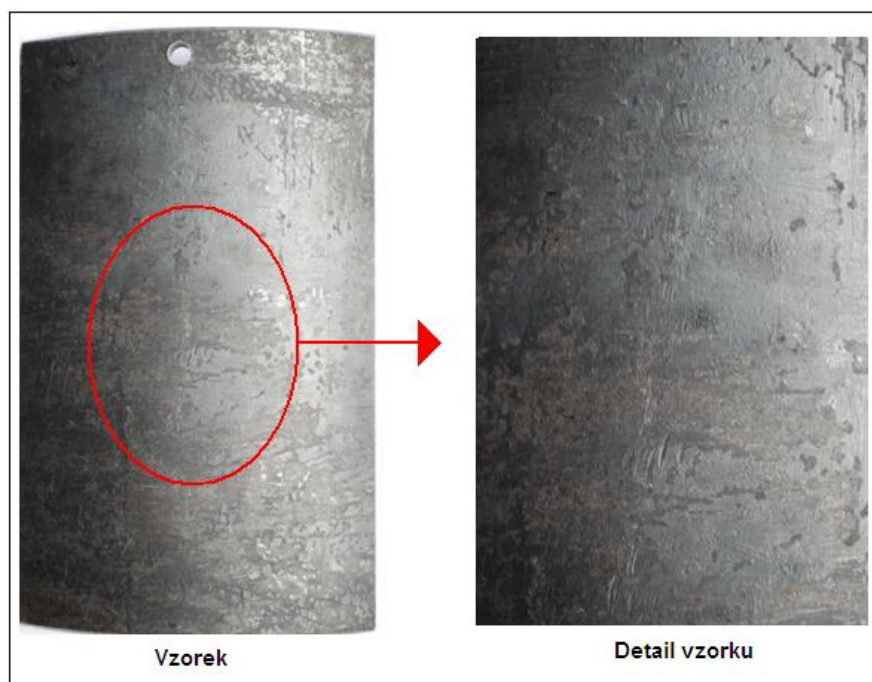
Tabulka 5.6 Mechanické vlastnosti oceli S355J2H

Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu $R_{e\ min}$ [MPa]	355
Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	470 - 630
Tažnost A_5 [%]	22

Tabulka 5.7 Chemické složení oceli S355J2H

Chemické složení						
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Al
obsah[%]	0,022 max	1,60 max	0,55 max	0,03 max	0,03 max	0,02 min

Fotodokumentace dodaných vzorků

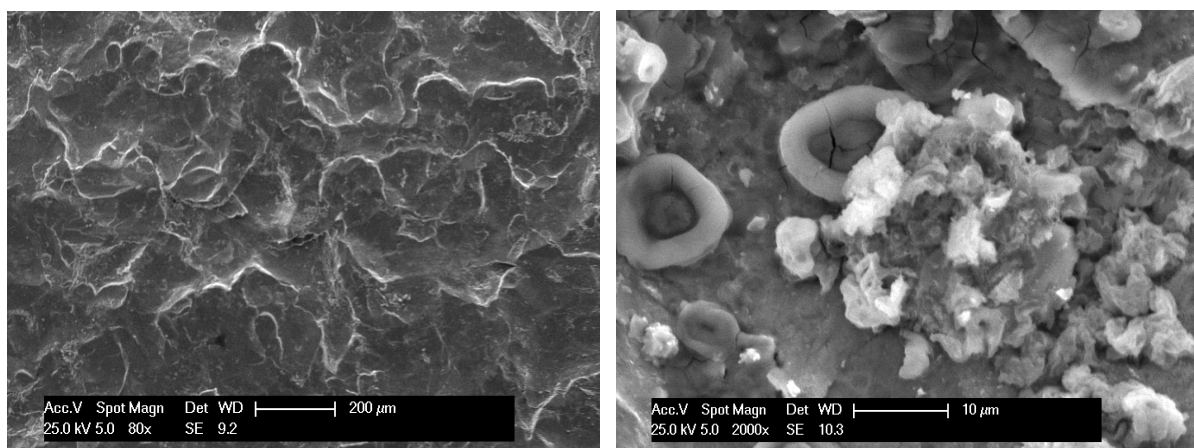


Obr. 5.5 Válcovaná bezešvá trubka za tepla

5.1.1 Chemická analýza a fotodokumentace povrchu vzorků

Chemická analýza a fotodokumentace povrchu vzorků byla provedena v Centru nanotechnologií, které sídlí na VŠB – TU Ostrava. Povrch vzorků byl analyzován na skenovacím elektronovém mikroskopu (SEM) PHILIPS XL 30, mikroanalýzou pomocí rentgenového záření (EDAX).

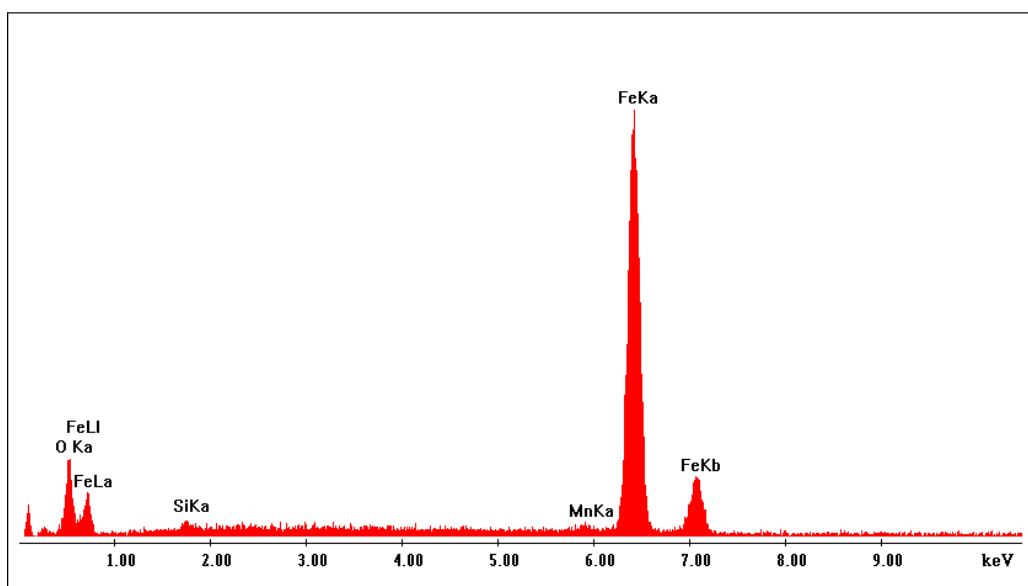
G – vzorky otryskané ocelovým granulátem GP 18



Obr. 5.6 Fotodokumentace povrchu G vlevo zvětšení 80x, vpravo zvětšení 2000x

Tabulka 5.8 Chemická analýza povrchu G

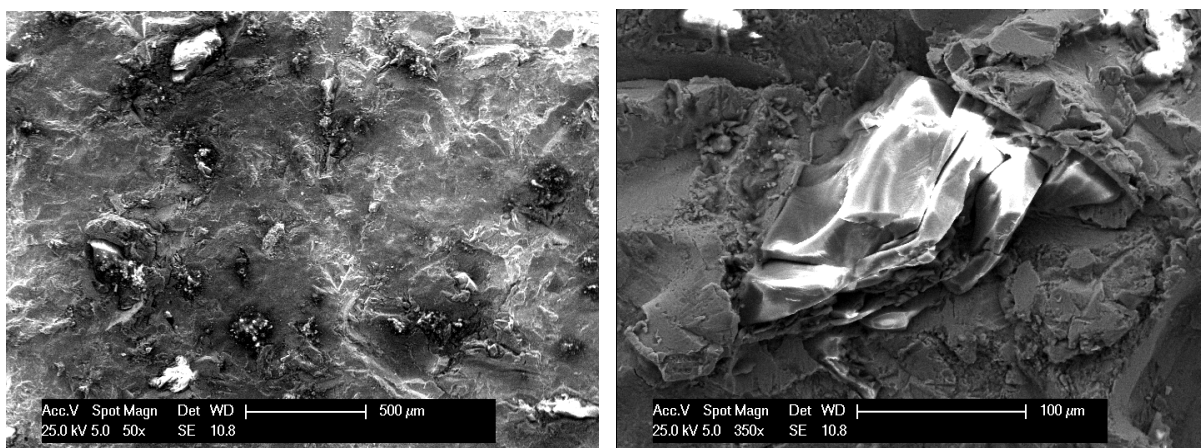
G – vzorky otryskané ocelovým granulátem				
Prvek	O	Si	Mn	Fe
Wt%	25,64	1,76	2,20	70,39



Obr. 5.7 Chemická analýza povrchu G

Chemický rozbor povrchu vzorků prokázal znečištění povrchu vzorku otryskaného ocelovým granulátem, oxidy vyskytujícími se na povrchu vzorku, což je viditelné i na obrázku 5.6 vpravo. Tento oxidický nárůst mohl být způsoben odmaštěním vzorků a mohl by mít vliv na adhezi nátěrových systémů a na degradaci povlaku. Dále se na tomto povrchu v malém množství vyskytuje i mangan a křemík, jedná se o zbytky otryskávacího prostředku.

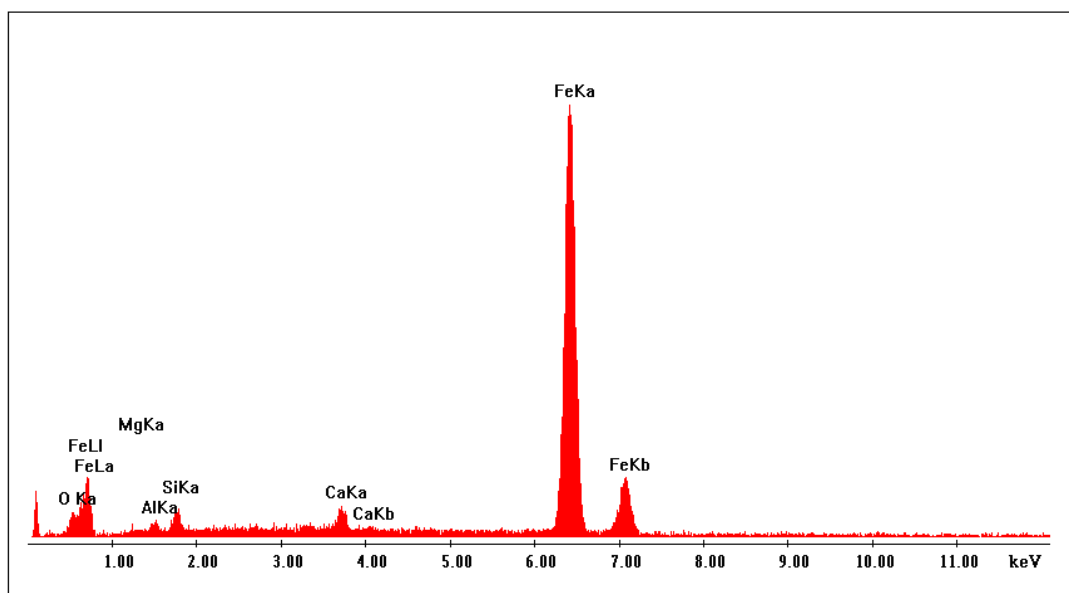
S – vzorky otryskané měděnou struskou 4DVV-4



Obr. 5.8 Fotodokumentace povrchu S vlevo zvětšení 50x, vpravo zvětšení 350x

Tabulka 5.9 Chemická analýza povrchu S

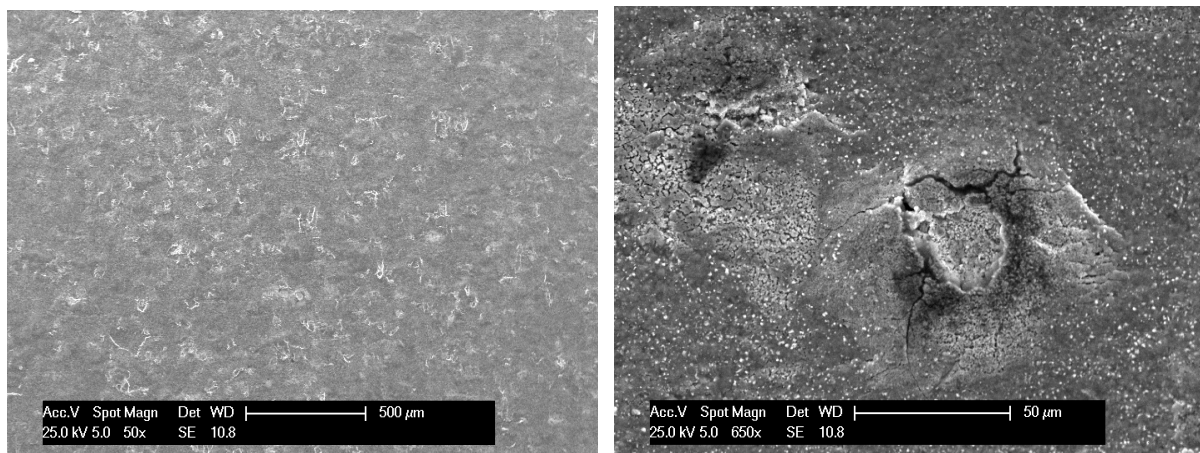
S – vzorky otryskané měděnou struskou						
Prvek	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Wt%	6,34	1,34	1,89	2,91	1,89	85,64



Obr. 5.9 Chemická analýza povrchu S

Chemická analýza povrchu vzorku prokázala znečištění povrchu oxidy, které se rovněž mohou na povrchu vyskytovat po odmaštění vzorku. Z fotodokumentace je patrné, že se na povrchu vyskytuje sekundární znečištění a to zatryskáním zrn otryskávacího prostředku do povrchu materiálu. Toto znečištění může mít velký vliv na adhezi nátěrového systému k takto mechanicky upravenému povrchu.

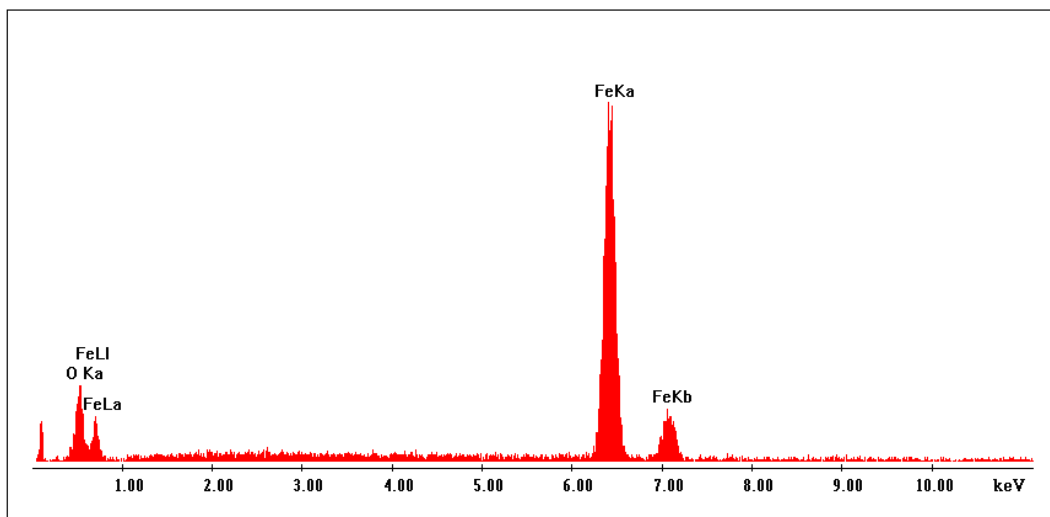
V – vzorky válcované za studena



Obr. 5.10 Fotodokumentace povrchu V vlevo zvětšení 50x, vpravo zvětšení 650x

Tabulka 5.10 Chemická analýza povrchu V

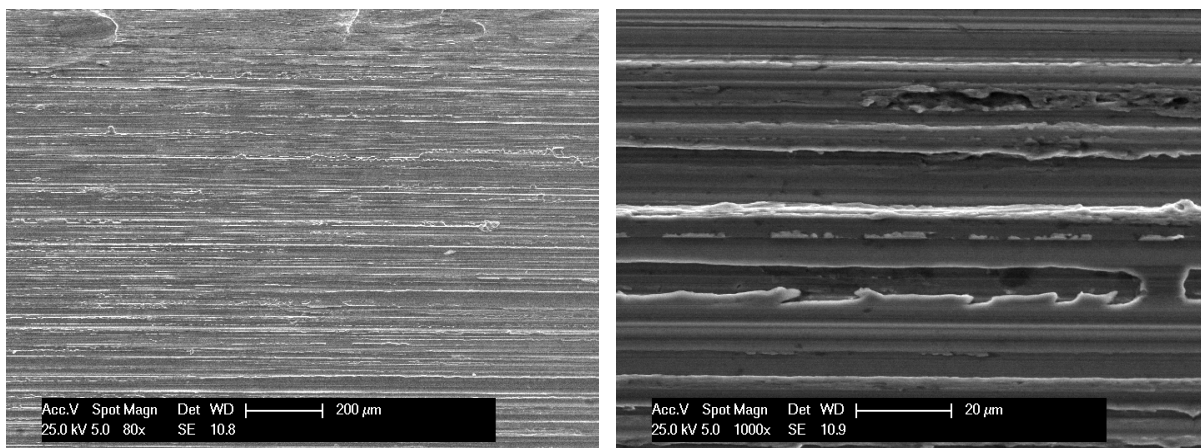
V – vzorky válcované		
Prvek	Fe	O
Wt%	83,44	16,56



Obr. 5.11 Chemická analýza povrchu V

Na tomto povrchu se vyskytuje znečištění pouze oxidy, které mohou značně ovlivnit adhezi nátěrového systému a mohou mít vliv na urychlení degradace povlaku. Z fotodokumentace je patrné, že povrch vyrobený válcováním za studena je pokryt jemnými prasklinkami a póry, které jsou způsobeny technologickým postupem.

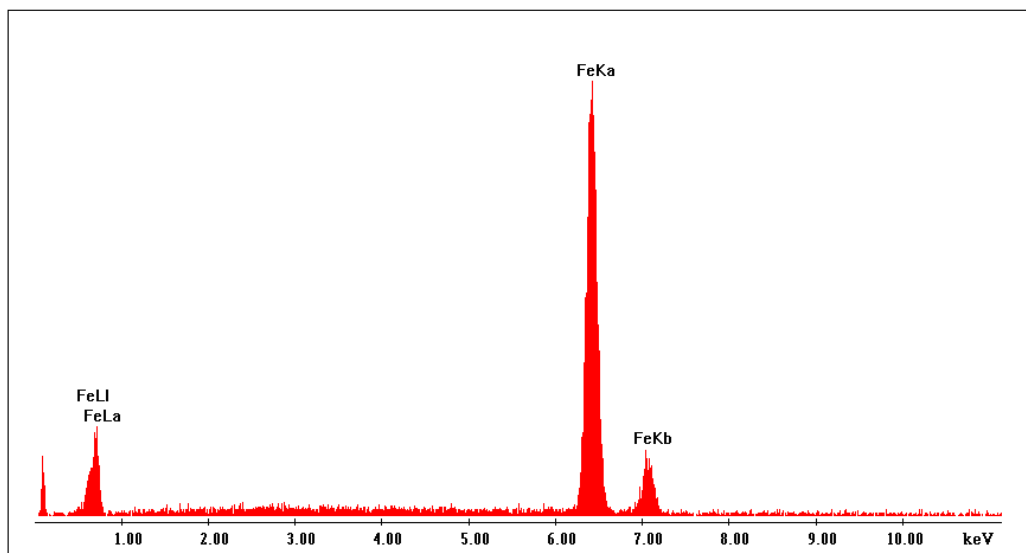
B – vzorky broušené



Obr. 5.12 Fotodokumentace povrchu B vlevo zvětšení 80x, vpravo zvětšení 1000x

Tabulka 5.11 Chemická analýza povrchu B

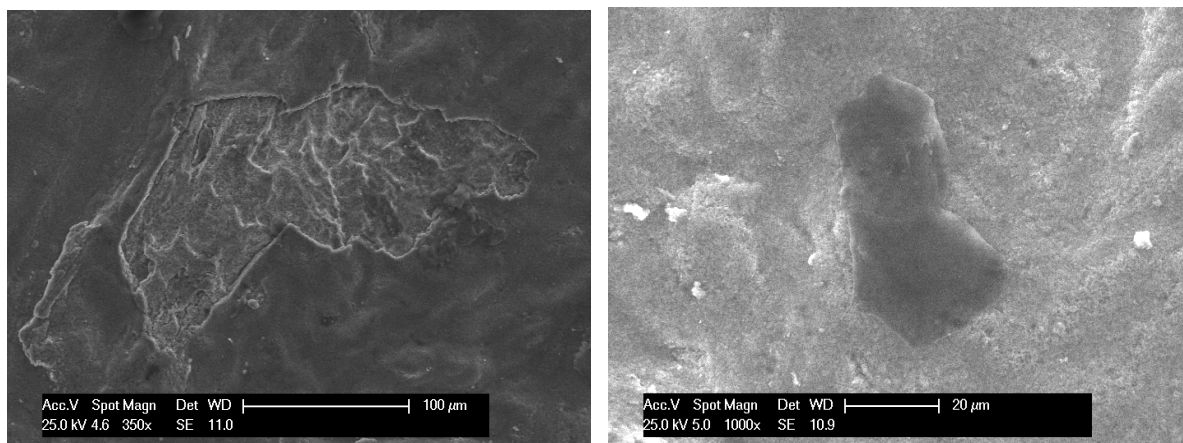
B – vzorek broušený	
Prvek	Fe
Wt%	100



Obr. 5.13 Chemická analýza povrchu B

Tyto broušené standardy jsou dodávány ve stavu odmaštěném a zabalené v inhibičním papíru. Vzorky se používají k zkouškám nátěrových systémů. Z fotodokumentace je patrné, že tento broušený povrch se řadí do skupiny anizotropních povrchů, proto se budou hodnoty drsnosti v podélném a příčném směru značně lišit. Na tomto povrchu se nevyskytují žádné nečistoty, tento povrch je tedy dokonale připraven pro aplikaci nátěrového systému.

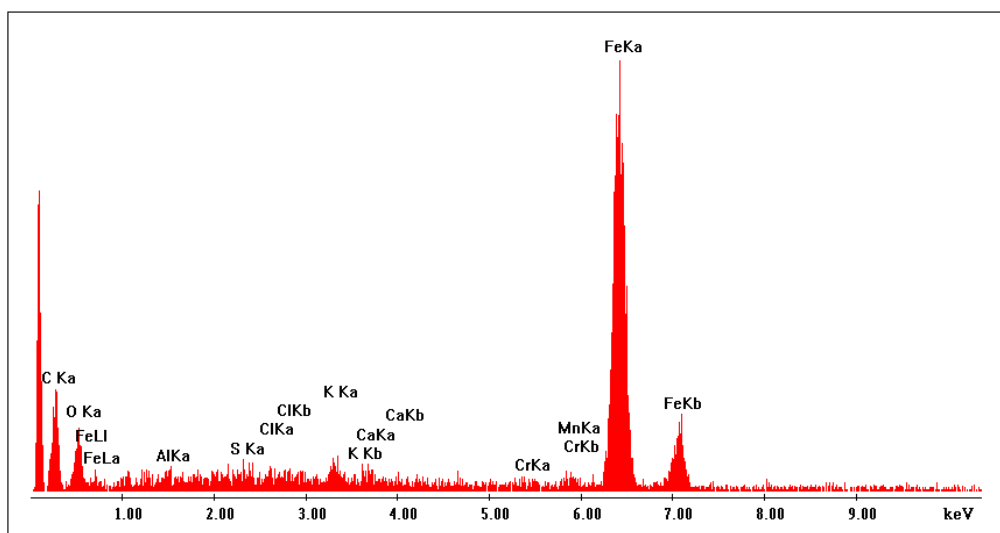
T – válcovaná trubka za tepla



Obr. 5.14 Fotodokumentace povrchu T vlevo zvětšení 350x, vpravo zvětšení 1000x

Tabulka 5.12 Chemická analýza povrchu T

T – válcovaná trubka										
Prvek	O					Fe				
Wt%	20,10					79,90				
T – válcovaná trubka – vrstva okují										
Prvek	C	O	Al	S	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe
Wt%	42,03	13,53	0,73	0,54	0,47	0,85	0,62	0,41	0,99	39,84



Obr. 5.15 Chemická analýza povrchu T

Tento povrch byl vyroben válcováním za tepla, proto je z větší části pokryt vrstvou okují. Vlivem technologického postupu je povrch pokryt rozsáhlými povrchovými dírami, vzniklými v důsledku vzniku plastických deformací. Na povrchu byl zaznamenán i výskyt oxidů což může spolu s okujemi negativně ovlivnit adhezi nátěrového systému a přispět k rychlejší degradaci povlaku.

5.2 CHARAKTERISTIKA ZP10

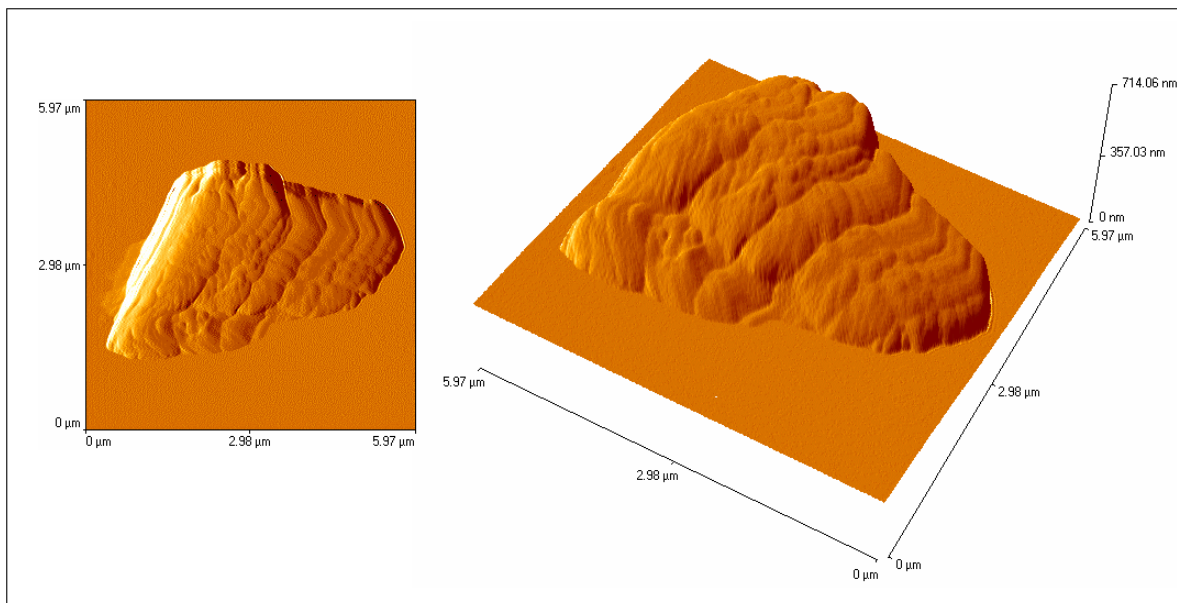
Fosforečnan zinečnatý $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$, obchodní značení ZP10, byl dodán firmou DENAS Color a.s., která jej odebírá od výrobce HEUBACH GmbH. ZP10 byl dodán v mikrometrických rozměrech, materiálový list ZP10 je uveden v příloze č. 1. Namletí částic ZP10 na nanorozměr bylo provedeno na Institutu fyziky, která sídlí na VŠB – TU v Ostravě, pomocí vodního paprsku.

5.2.1 Morfologie povrchu ZP10 v mikro a nanorozměrech

Morfologie klasického a jemně mletého fosforečnanu zinečnatého ZP10, byla provedena na Centru nanotechnologií, které sídlí na VŠB – TU v Ostravě. Vzorky byly analyzovány pomocí mikroskopie atomových sil (AFM), která je založena na mapování rozložení atomových sil na povrchu vzorku. Byly pořízeny 2D a 3D snímky charakterizující morfologii povrchu analyzovaných částic.

Částice ZP10 v mikrorozměrech

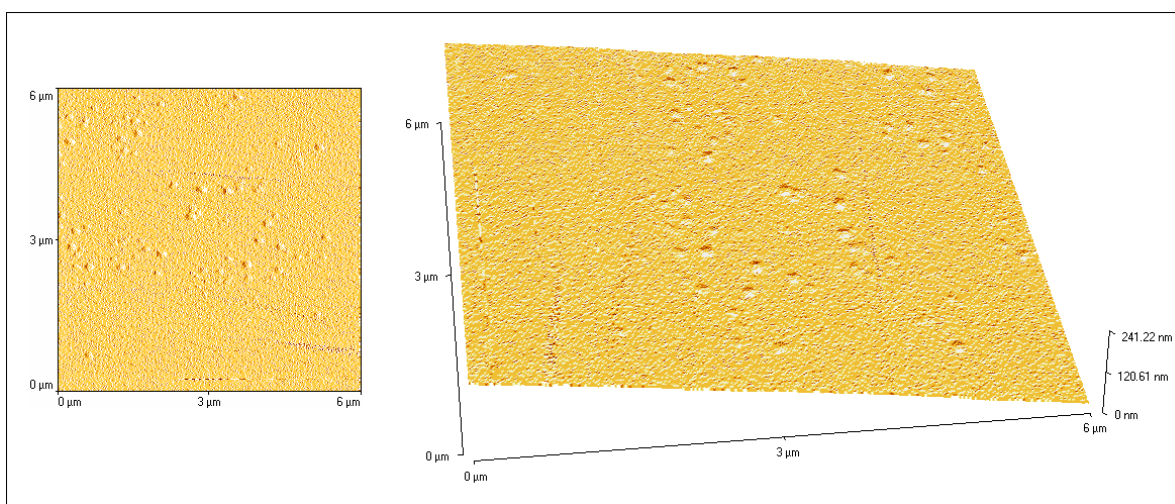
Velikost těchto částic je v průměru 3 – 5 μm . Částice jsou charakteru neizometrického, jsou spíše tvaru lamelárního.



Obr. 5.16 Morfologie povrchu mikročástic pomocí AFM vlevo 2D a vpravo 3D snímek.

Částice ZP10 v nanorozměrech

Velikost těchto částic je hůře měřitelná, protože takto připravené částice v nanorozměrech mají sklony k tvorbě shluků. Průměrná velikost této frakce se pohybuje kolem 100 x 200 x 4 nm. Částice jsou neizometrického charakteru lamelárního tvaru.

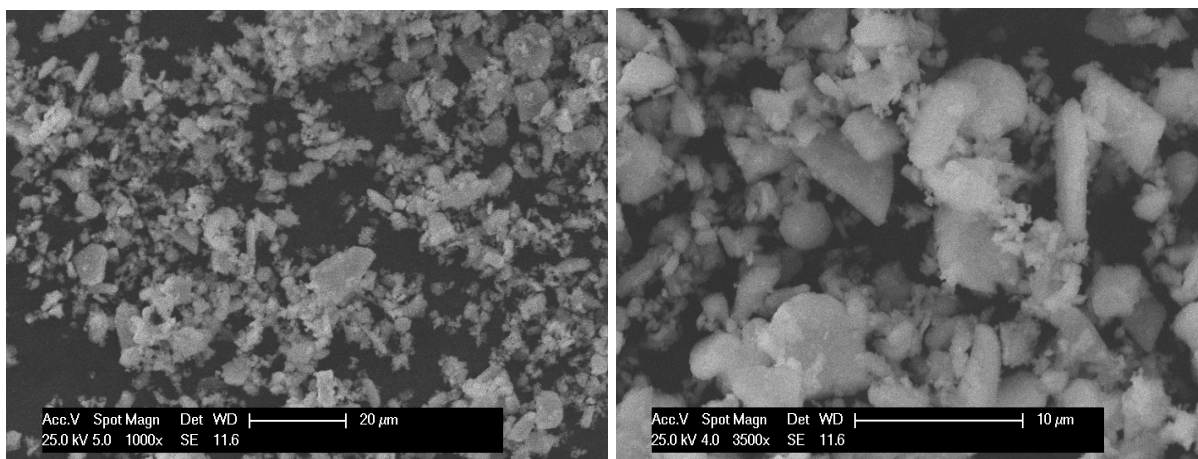


Obr. 5.17 Morfologie povrchu nanočástic pomocí AFM vlevo 2D a vpravo 3D snímek.

5.2.2 Chemická analýza a fotodokumentace ZP10

Chemická analýza a fotodokumentace povrchu vzorků byla provedena na Centru nanotechnologií, které sídlí na VŠB – TU v Ostravě. Povrch vzorků byl analyzován na skenovacím elektronovém mikroskopu (SEM) PHILIPS XL 30, mikroanalýzou pomocí rentgenového záření (EDAX).

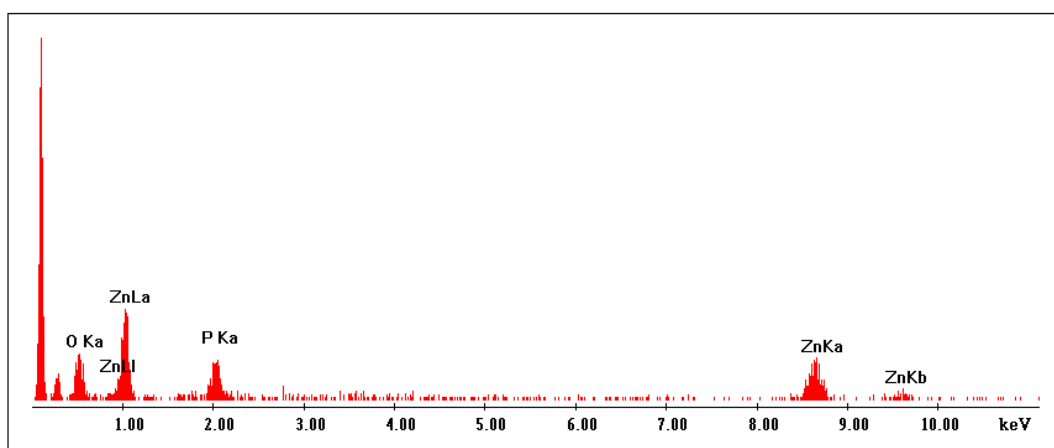
Částice ZP10 v mikrorozměrech



Obr. 5.18 Částice ZP10 v mikrorozměrech vlevo zvětšení 1000x, vpravo zvětšení 3500x

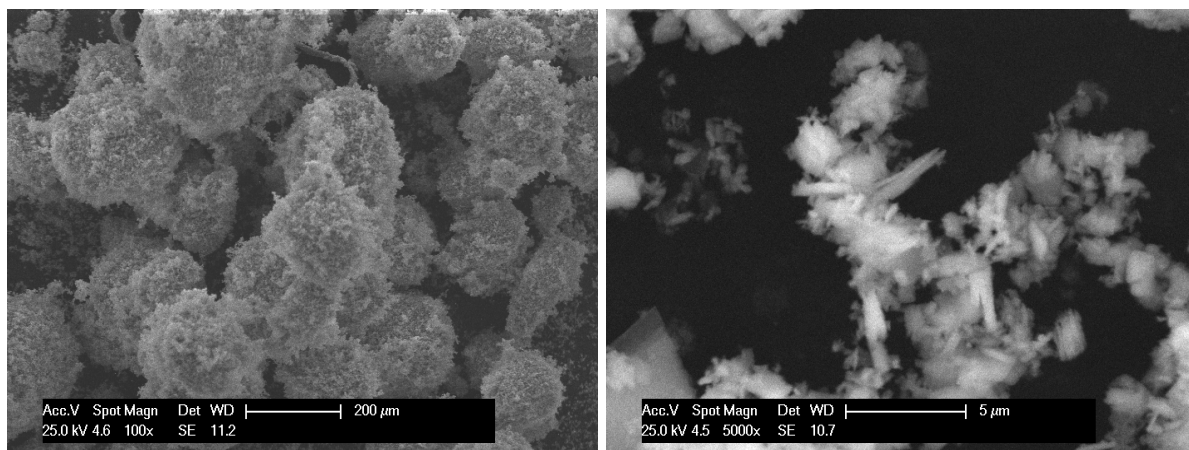
Tabulka 5.13 Chemický rozbor ZP10 v mikrorozměrech

Chemický rozbor ZP10 v mikrorozměru			
Prvek	Zn	P	O
Wt%	51,60	14,74	32,66

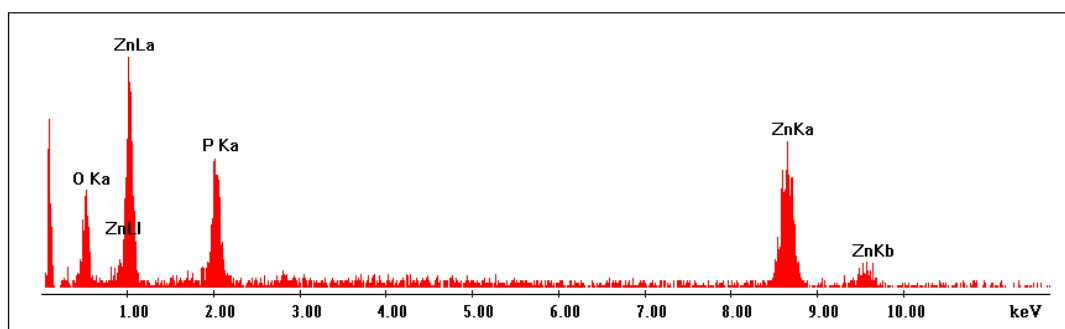


Obr. 5.19 Chemický rozbor ZP10 v mikrorozměru

Tyto částice ZP10 v mikrometrech jsou neizometrického tvaru, spíše lamelárního tvaru což je patrné i ze snímků. Z fotodokumentace je patrné, že některé částice jsou mnohem menší než 3 µm.

Částice ZP10 v nanorozměrech**Obr. 5.20** Částice ZP10 v nanorozměrech vlevo shluky částic zvětšení 100x, vpravo zvětšení 5000x**Tabulka 5.14** Chemický rozbor ZP10 v nanorozměru

Chemický rozbor ZP10 v nanorozměru			
Prvek	Zn	P	O
Wt%	55,6	15,82	29,13

**Obr. 5.21** Chemický rozbor ZP10 v nanorozměru

Ze snímku je patrné, že takto připravené nanočástice mají sklony k tvorbě shluků. Samotné nanočástice jsou rovněž neizometrického charakteru, spíše tvaru lamelárního. Chemické složení částic před a po namletí se téměř shoduje, tedy mletí nijak neovlivňuje chemické složení ZP10.

5.3 TEORETICKÝ VÝPOČET PLNĚNÍ NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU

V této podkapitole je popsán teoretický výpočet množství částic fosfátu zinku v mikrorozměrech a nanorozměrech, potřebných k:

- pokrytí povrchu ocelového substrátu
- k zaplnění suché vrstvy nátěrového systému z ¼

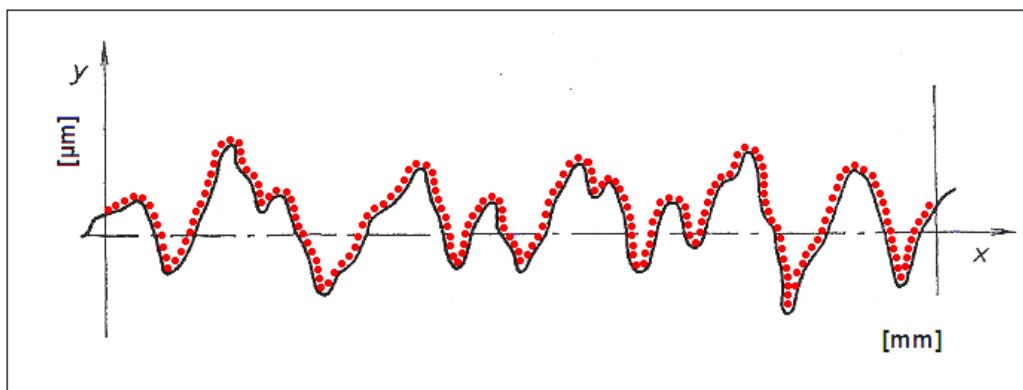
Z hlediska zjednodušení výpočtu uvažujeme částice kulového charakteru o průměru **d**. Částice ZP10 v mikro a nanorozměrech budeme aproximovat pro plošné pokrytí čtverci a pro objemové plnění krychlemi o straně **a = d**:

- pro mikrorozměr 4 μm ,
- pro nanorozměr 200 nm.

Teoretický výpočet bude proveden pro tloušťku suché nátěrové hmoty 50 μm , pro dosažení této suché vrstvy bude na povrch aplikována mokrá vrstva o tloušťce 100 μm .

5.3.1 Teoretický výpočet částic ZP10 potřebných k pokrytí povrchu ocelového substrátu

Aby byl povrch dokonale pokryt částicemi v mikro a nanorozměru předpokládáme, že částice budou přesně kopírovat povrch ocelového substrátu viz. Obr. 5.22



Obr. 5.22 Znáznornění pokrytí povrchu ocelového substrátu

Výpočet bude proveden pro 1 m^2 rozvinuté plochy ocelového substrátu. Při výpočtu budeme vycházet z plochy čtverce:

$$S_C = a^2 \quad (5.1) [18]$$

S_C – plocha čtverce [mm^2]

a – strana čtverce [mm^2]

Nyní vypočteme počet částic potřebných k pokrytí rozvinuté plochy 1 m^2 .

$$S_{1\text{m}^2} = (a_1)^2 \quad (5.2)$$

$$P_A = \frac{S_{1\text{m}^2}}{S_C} \Rightarrow P_A = P_K \quad (5.3)$$

$S_{1\text{m}^2}$ – obsah rozvinuté plochy 1 m^2 [mm^2]

a_1 – strana rozvinuté plochy [mm^2]

P_A – počet aproximovaných částic [Ks]

P_K – počet kulových částic [Ks]

$$V_{\text{NHS}} = \frac{S_{1\text{m}^2} \cdot T_{\text{NHM}}}{2} \quad (5.4)$$

$$VP_K = P_K \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \pi r^3 \right) \quad (5.5)$$

V_{NHS} – Objem suché nátěrové hmoty o tloušťce 50 μm pro 1 m^2 rozvinuté plochy [mm^3]

T_{NHM} – Tloušťka mokré vrstvy nátěrové hmoty [mm]

VP_K – objem kulových částic ZP10 potřebných k teoretickému zaplnění povrchu ocelového substrátu [mm^3]

r – poloměr kulové částice ZP10 [mm]

$$P_{K(\%)} = \frac{VP_K}{V_{\text{NHS}}} \cdot 100 \quad (5.6)$$

$P_{K(\%)}$ – počet částic ZP10 [%]

Následuje výpočet měrného povrchu částic, vycházíme z povrchu koule:

$$Sp_K = \pi d^2 \quad (5.7) [18]$$

$$RSp_K = Sp_K \cdot P_K \quad (5.8)$$

Sp_K – povrch jedné kulové částice [mm^2]

d – průměr kulové částice ZP10 [mm]

RSp_K – rozvinutá plocha částic (měrný povrch) potřebných k pokrytí povrchu ocelového substrátu [mm^2]

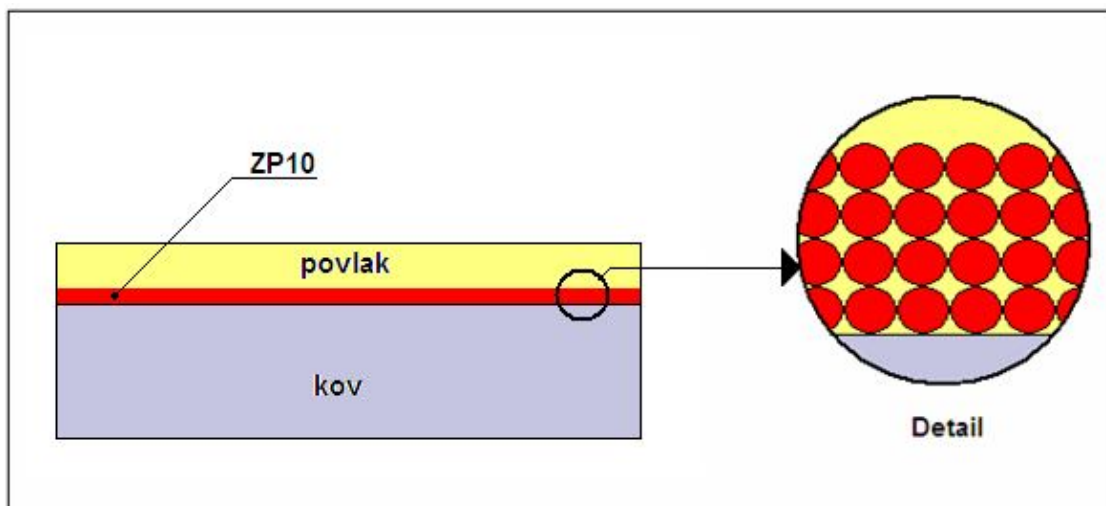
Tabulka 5.15 Počet částic a jejich teoretický měrný povrch

Velikost ZP 10	Množství ZP10 v laku potřebných k pokrytí povrchu [%]	Počet částic [Ks]	Měrný povrch částic [m^2]
200 nm	0,01 – 2	$2,5 \cdot 10^{13}$	3,14
4 μm	3 – 5	$6,25 \cdot 10^{10}$	3,14

Plocha rozvinutých částic bude stejná, ale bude se měnit procento částic potřebných k pokrytí povrchu ocelového substrátu s tím souvisí i počet částic, který bude rovněž různý. Částic ZP10 v nanorozměru bude o třetinu více než částic v mikrorozměru, což se dalo očekávat.

5.3.2 Teoretický výpočet částic ZP10 potřebných k zaplnění jedné čtvrtiny objemu nátěrové hmoty

Předpokládejme zaplnění suché vrstvy povlaku z $\frac{1}{4}$. Budeme uvažovat částice kulového tvaru, které budou při výpočtu aproximovány krychlemi kde platí d (průměr koule) = a (strana krychle) .



Obr. 5.23 Schéma teoretického zaplnění povlaku

Výpočet bude proveden pro rozvinutou plochu ocelového substrátu o obsahu 1 m^2 . Při výpočtu budeme vycházet z objemu koule, kterou budeme aproximovat krychlí, a z předpokládaného objemu nátěrového systému.

$$V_A = a^3 \quad (5.9) [18]$$

V_A – objem aproximované částice krychle [mm^3]

a – strana krychle [mm]

$$V_N = 10000 \cdot t_M \quad (5.10)$$

V_N – Objem mokré vrstvy povlaku pro rozvinutou plochu o obsahu 1 m^2 [mm^3]

t_M – tloušťka mokré vrstvy nátěru [mm]

Počet částic potřebných k zaplnění $\frac{1}{4}$ suché vrstvy nátěrové hmoty.

$$P_A = \frac{V_N}{\frac{4}{V_A}} \Rightarrow P_A = P_K \quad (5.11)$$

P_A – počet aproximovaných částic [Ks]

P_K – počet kulových částic [Ks]

Vyjádření počtu částic v procentech

$$VP_K = P_K \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \pi r^3 \right) \quad (5.12)$$

VP_K – objem kulových částic ZP10 potřebných k teoretickému zaplnění povrchu ocelového substrátu [mm³]

r – poloměr kulové částice ZP10 [mm]

$$P_{K(\%)} = \frac{VP_K}{S_{1m^2} \cdot T_{NHM}} \cdot 100 \quad (5.13)$$

$P_{K(\%)}$ – počet částic ZP10 [%]

T_{NHM} – Tloušťka mokré vrstvy nátěrové hmoty [mm]

S_{1m^2} – obsah rozvinuté plochy 1 m² [mm²]

Teoretický měrný povrch částic vypočteme dle vzorců 5.7 a 5.8 uvedených v podkapitole 5.3.1.

Tabulka 5.16 Počet částic a jejich teoretický měrný povrch

Velikost ZP 10	Množství ZP10 v povlaku potřebných k zaplnění z ¼ [%]	Počet částic [Ks]	Měrný povrch částic [m ²]
200 nm	12 – 14	$1,25 \cdot 10^{16}$	392,50
4 µm	12 – 14	$3,91 \cdot 10^{11}$	19,62

Zde je procento plnění částicemi v nano a mikrorozměrech stejné. Počet částic v nanorozměru bude opět vyšší, stejně tak se bude lišit i měrný povrch použitých částic v nanorozměru, je téměř 20x vyšší než měrný povrch potřebných částic v mikrorozměru.

5.4 CHARAKTERISTIKA NÁTĚROVÝCH HMOT

Nátěrová hmota, byla dodána firmou DENAS Color, a. s., jedná se o transparentní vodouředitelný nátěrový systém na bázi alkydové pryskyřice, bez obsahu VOC látek. Složení a další specifické vlastnosti tohoto nátěrového systému nemohou být v této práci uvedeny, neboť se jedná o vývoj nového povlakového systému. Tato transparentní nátěrová hmota je kompletní až po přidání plniva, v tomto případě je plnivem ZP10. Fosforečnan zinečnatý byl vmíchán do nátěru pomocí míchadla IKA RW16 Basic, v laboratořích VŠB – TU Ostrava, na Katedře mechanické technologie. Mísení probíhalo po dobu 15 minut při 600 ot./min. Po té se nechal hotový nátěrový systém po dobu 12 – 24 hodin ustálit. Nátěrová hmota byla nanášena štětcem, ve dvou vrstvách.

Technologický postup aplikace nátěrové hmoty:

- Nanesení první mokré vrstvy o tloušťce 50 μm , volné zasychání na vzduchu při běžné pokojové teplotě cca 30 minut.
- Vytvrzování v peci při teplotě 80 °C po dobu jedné hodiny.
- Po zchladnutí nanesení druhé vrstvy nátěrové hmoty o tloušťce 50 μm , volné zasychání na vzduchu při běžné pokojové teplotě cca 30 minut.
- Celkové vytvrzování v peci při teplotě 80 °C po dobu 6 hodin.

Jeden typ nátěrového systému obsahoval částice v mikronových rozměrech a druhý v nanorozměrech. Částice o těchto dvou rozměrech byly vmíchány do nátěrového systému dle vypočteného množství viz. kapitola 5.3, celkem byly namíchány čtyři různé nátěrové hmoty s různou koncentrací ZP10 v mikro a nanorozměru v různém obsahu.

5.5 OZNAČENÍ VZORKŮ

Podkladové materiály byly označeny jedním písmenem.

G – vzorek vyrobený z oceli KOSMALT E300 T upravený otryskáním ocelovou drtí GP 18.

S – vzorek vyrobený z oceli KOSMALT E300 T upravený otryskáním měděnou struskou 4VVD-4.

V – vzorek vyrobený z oceli KOSMALT E300 T válcovaný za studena.

B – vzorek vyrobený z nízkouhlíkové oceli CRS SAE 1008/1010 s povrchem broušeným.

T – vzorek vyrobený z materiálu S355J2H válcovaná bezešvá trubka za tepla.

Nátěrové hmoty byly označeny také písmeny:

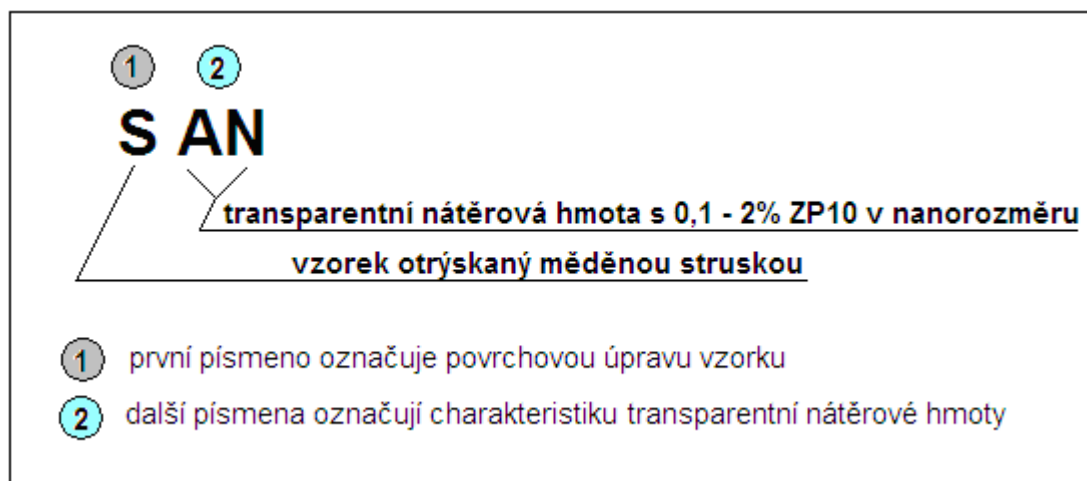
AN – transparentní antikorozní lak na bázi alkydové pryskyřice s obsahem 0,1 – 2 % ZP10 v nanorozměru.

BN – transparentní antikorozní lak na bázi alkydové pryskyřice s obsahem 12 – 14 % ZP10 v nanorozměru.

AM – transparentní antikorozní lak na bázi alkydové pryskyřice s obsahem 3 – 5 % ZP10 v mikrorozměru.

BM – transparentní antikorozní lak na bázi alkydové pryskyřice s obsahem 12 – 14 % ZP10 v mikrorozměru.

Příklad značení:



Obr. 5.24 Příklad značení vzorků

6 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY MĚŘENÍ

V této kapitole jsou popsány jednotlivé zkoušky, které byly na vzorcích provedeny.

6.1 VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ ČISTOTY POVRCHU DLE ČSN EN ISO 8501-1

Vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 – Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zrezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků.[75]

Norma popisuje stupně vizuální čistoty (označované jako stupně přípravy povrchu) pro přípravu povrchu ocelových substrátů bez povlaku a povrchů oceli po úplném odstranění předchozích povlaků. Každý stupeň přípravy povrchu je označen příslušnými písmeny, které udávají typ použité metody čištění a číslem označující stupeň očištění od rzi, okují a předchozích nátěrů. Povrchy očištěné otryskáváním jsou označeny písmeny Sa a povrchy očištěné broušením se označují písmeny St, hodnocení se provádí dle tabulek viz. Tab. 6.1 a Tab. 6.2.

Tabulka 6.1 Stupně čistoty po otryskání [75]

Stupeň čistoty	Intenzita otryskání	Popis povrchu
Sa 1	Lehké otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek.
Sa 2	Důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé nečistoty musí být pevně přilnavé.
Sa 2 ¹ / ₂	Velmi důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí vykazovat pouze lehké zabarvení ve formě skvrn nebo pruhů.
Sa 3	Otryskání až na vizuálně čistý ocelový povrch	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.

Tabulka 6.2 Stupně ručního a mechanizovaného čištění [75]

Stupeň čistoty	Intenzita čištění	Popis povrchu
St 2	Důkladné ruční a mechanizované čištění	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek.
St 3	Velmi důkladné ruční a mechanizované čištění	Jako u St 2, ale povrch musí být očištěn mnohem důkladněji, aby získal kovový odstín daný podkladem.

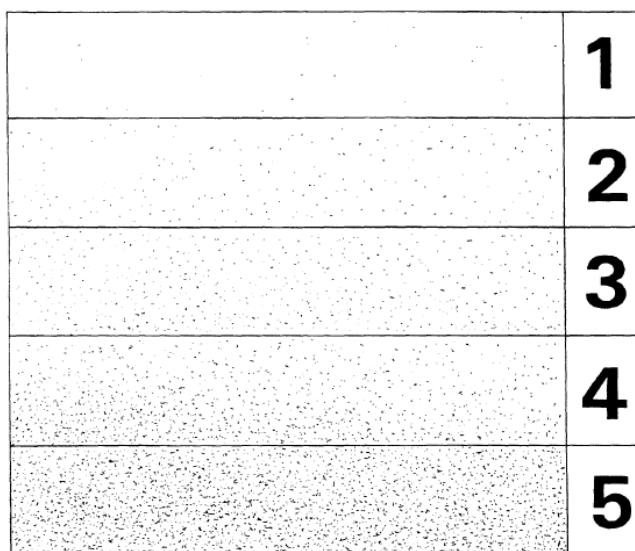
6.2 HODNOCENÍ ČISTOTY POVRCHU DLE ČSN ISO 8502 - 3

Hodnocení čistoty povrchu dle ČSN ISO 8502-3 – Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepící páskou). [76]

Norma popisuje metody stanovení množství a velikosti prachových částic na ocelovém povrchu. Jedná se o metodu snímací lepící páskou. Transparentní adhezní páska (šíře 25mm) je nalepena na povrch ocelového materiálu a lehce přitlačena k tomuto povrchu. Po té je sejmuta pod úhlem 180° a nalepena na podklad, který je v barvě kontrastní k barvě prachu. Hodnocení množství prachu na pásce se provádí vizuálním porovnáním s odpovídající předlohou v tabulce, ta je očíslována od 1 do 5 (1 - téměř žádný prach, 5 – vysoká zaprášenost povrchu). Vyhodnocení převládající velikosti částic na pásce se provádí také podle tabulky, která definuje šest tříd velikostí částic (0 – 5). [76]

Tabulka 6.3 Třídy velikosti prachových částic dle ČSN ISO 8502-3 [76]

Třída	Popis prachových částic
0	Částice neviditelné při zvětšení 10x
1	Částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 μm v průměru)
2	Částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 μm a 100 μm v průměru)
3	Částice jasně viditelné prostým okem (částice do 0,5 mm v průměru)
4	Částice mezi 0,5 mm 2,5 mm v průměru
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru

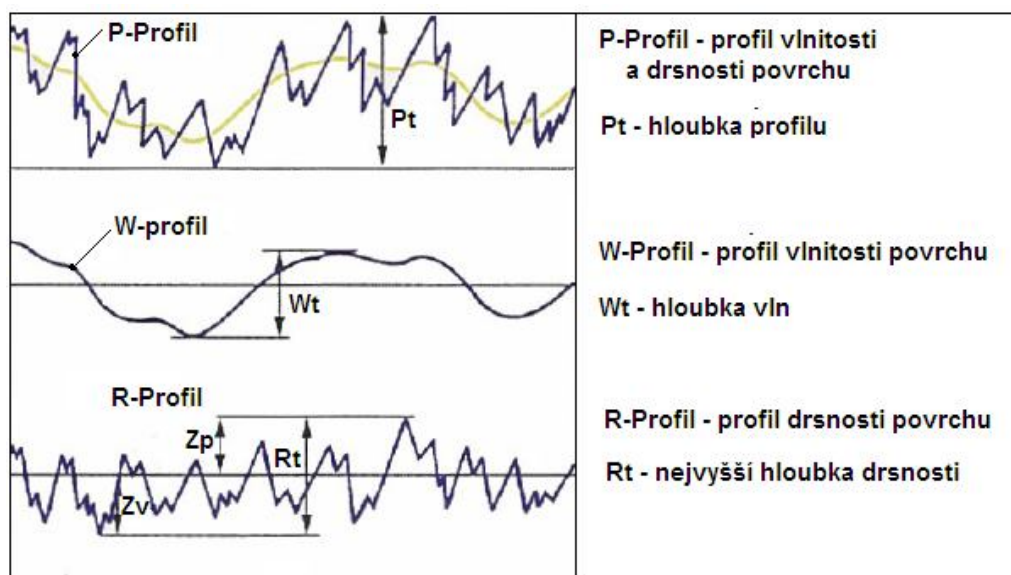


Obr. 6.1 Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle ČSN ISO 8502-3 [76]

6.3 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU DLE ČSN EN ISO 4287

Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287 – Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu.[70]

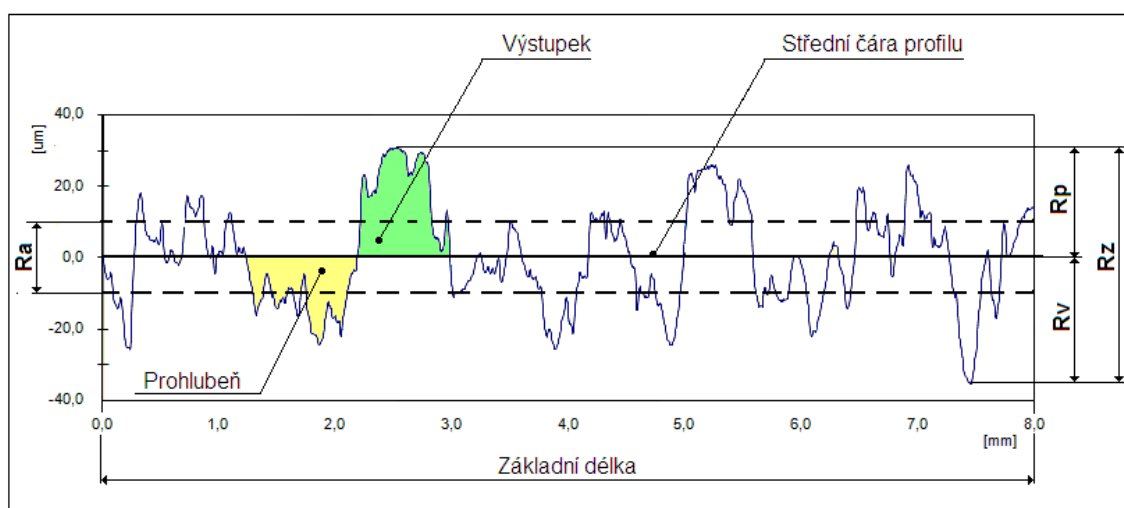
Norma stanoví termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu (drsnost, vlnitost a základní profil viz. Obr. 6.2 profilovou metodou. Profil drsnosti je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti, je odvozený od základního profilu potlačením dlouhových složek použitím filtru profilu λc . Profil povrchu materiálu je získán dotykovou metodou pomocí snímacího hrotu přístroje.



Obr. 6.2 Profily povrchu [46]

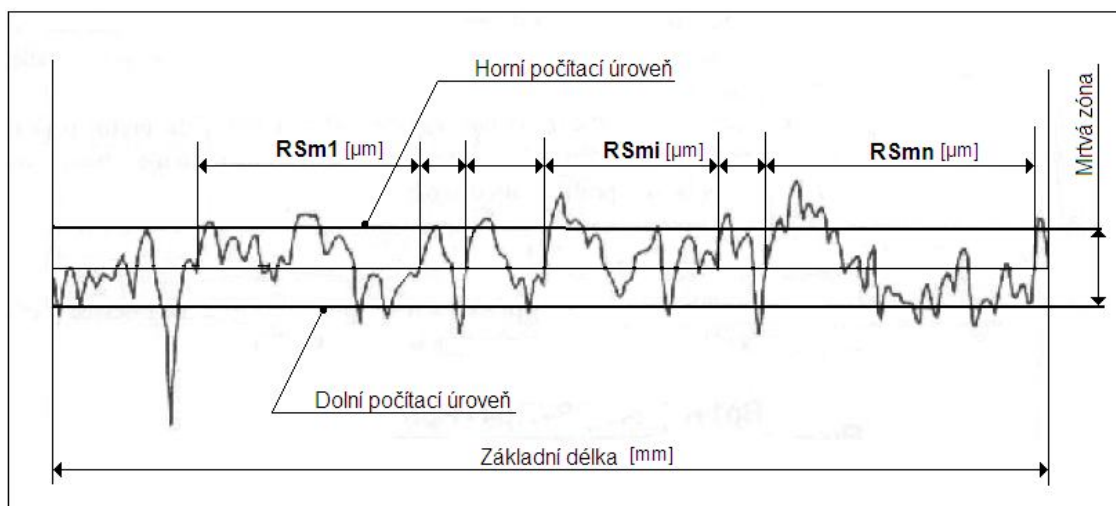
Profil drsnosti je profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek pomocí filtru profilu λ_c . Tento profil je základem pro hodnocení mnoha parametrů drsnosti. Drsnost povrchu charakterizují jednotlivé parametry měření drsnosti [17, 70]:

- **Ra** – *průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu* [μm] - aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky.
- **Rz** – *maximální výška profilu* [μm] - Rz je součtem výšky Z_p nejvyššího bodu od střední linie a hloubky Z_v nejhlubšího údolí od střední linie.
- **Rq** – *kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu* [μm] – kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky.
- **Rp** – *největší výška výstupku profilu* [μm] - největší výška profilového údolí získaná přes hodnotící délku.
- **Rv** – *největší hloubka prohlubně profilu* [μm] - největší hloubka profilového údolí získaná přes hodnotící délku.



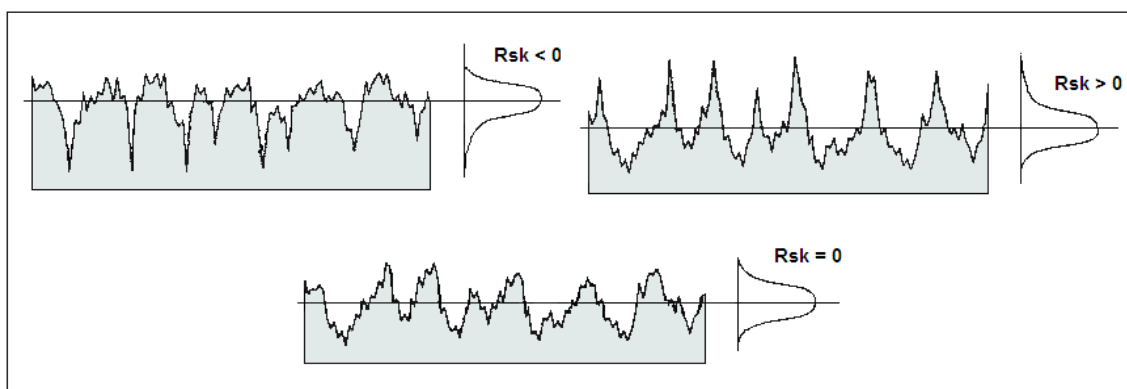
Obr. 6.3 Profil drsnosti povrchu materiálu [3]

- **RSm** – *Průměrná šířka prvku profilu v rámci vzorové délky* [μm] - část vyčnívající směrem nahoru nad danou část horní počítací úrovně se nazývá profilový vrchol a část vyčnívající směrem dolů pod danou spodní počítací úroveň se nazývá profilové údolí. Šířka profilového prvku je délka segmentu x , která je průsečíkem s profilovým vrcholem a sousedícím profilovým údolím.
- **RPc** – *Počet vrcholů na jednotku délky* [/cm] - určuje počet vrcholů vyskytujících se na 1cm délky. Tento parametr je nenormalizovaný, a závislý na parametru RSm. Čím větší je hodnota parametru RSm tím menší je hodnota RPc (počet vrcholů).



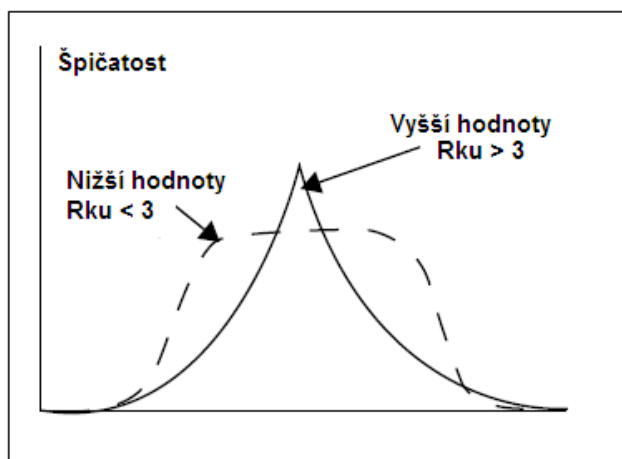
Obr. 6.4 Délkový parametr RSm [70]

- **Rsk** – šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) [-] – vyjadřuje asymetrii rozložení výšek okolo střední hodnoty výšky povrchu vzorku. Záporné hodnoty vypovídají o rozložení četnosti povrchové drsnosti doleva od střední hodnoty výšky což značí větší četnost objektů s výškou menší než je střední výška (hlubší „údolí“) a kladná hodnota vypovídá o rozložení četnosti více doprava do vyšších hodnot od střední hodnoty výšky (vyšší nebo více „štítů“) viz. Obr. 6.5. [50] Převažují-li hodnoty záporného charakteru pak povrch vykazuje dobré vlastnosti nosnosti profilu.



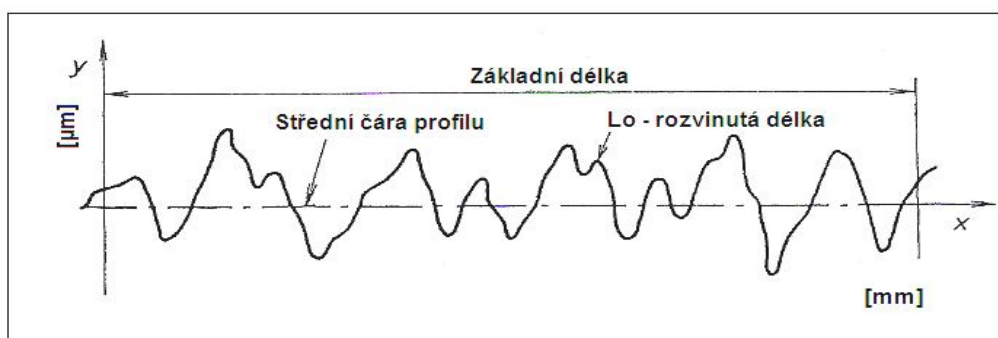
Obr. 6.5 Rozdělení povrchů z hlediska asymetrie kolem nulové hodnoty [50]

- **Rku** – špičatost posuzovaného profilu [-] – vypovídá o špičatosti výškového rozdělení výšek povrchu. Pro Gausovská normální rozložení je hodnota $Rku = 3$. Čím je hodnota vyšší ($Rku > 3$) tím je křivka ostřejší (výstupky a rýhy na povrchu jsou ostřejšího charakteru), čím jsou hodnoty nižší ($Rku < 3$) symbolizují spíše zaoblenost výstupků a rýh.



Obr. 6.6 Zobrazení špičatosti posuzovaného profilu dle parametru Rku [50]

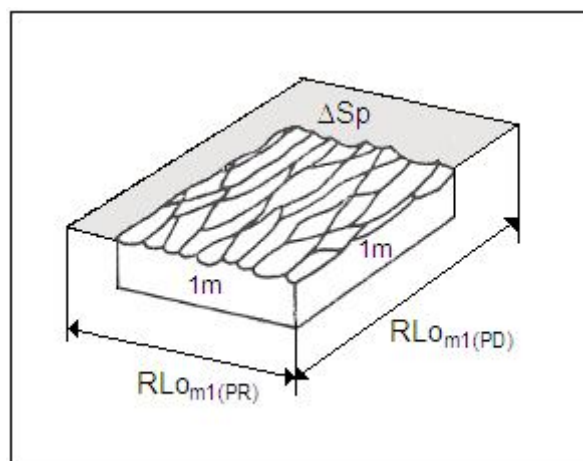
- **RLo** – rozvinutá délka profilu [mm] - je délka vytvořená rozvinutím všech výstupků a prohlubní profilu, které leží v rozsahu základní délky, do přímky.



Obr. 6.7 Rozvinutá délka profilu [24]

6.4 STANOVENÍ ROZVINUTÉ PLOCHY POVRCHU

Výpočet rozvinutí plochy povrchu dodaných vzorků na 1m^2 plochy bylo stanoveno pomocí rozvinuté délky RLo , která byla na vzorcích měřena v příčném a podélném směru pomocí dotykové metody přístrojem *Mitutoyo surftest – SJ 301*. Výpočet byl proveden dle následujícího postupu.



Obr. 6.8 Zobrazení vypočtených parametrů

Nejprve vypočteme rozvinutí délek viz. Obr. 6.8 v podélném a příčném směru měření na 1m povrchu vzorku:

$$RLo_{1m(PD)} = \left(\frac{1000}{L} \right) \cdot RLo_{(PD)} \quad (6.1)$$

$$RLo_{1m(PR)} = \left(\frac{1000}{L} \right) \cdot RLo_{(PR)} \quad (6.2)$$

L – základní délka [mm]

$RLo_{(PD)}$ – rozvinutá délka naměřená v podélném směru [mm]

$RLo_{(PR)}$ – rozvinutá délka naměřená v v příčném směru [mm]

$RLo_{1m(PD)}$ – rozvinutá délka na 1m délky v podélném směru [mm]

$RLo_{1m(PR)}$ – rozvinutá délka na 1m délky v příčném směru [mm]

Po té provedeme výpočet rozvinuté plochy na $1m^2$ a zvětšení plochy:

$$Sp_{1m^2} = (RLo_{1m(PD)} \cdot RLo_{1m(PR)}) \cdot 10000 \quad (6.3)$$

$$\Delta Sp = Sp_{1m^2} - 1 \quad (6.4)$$

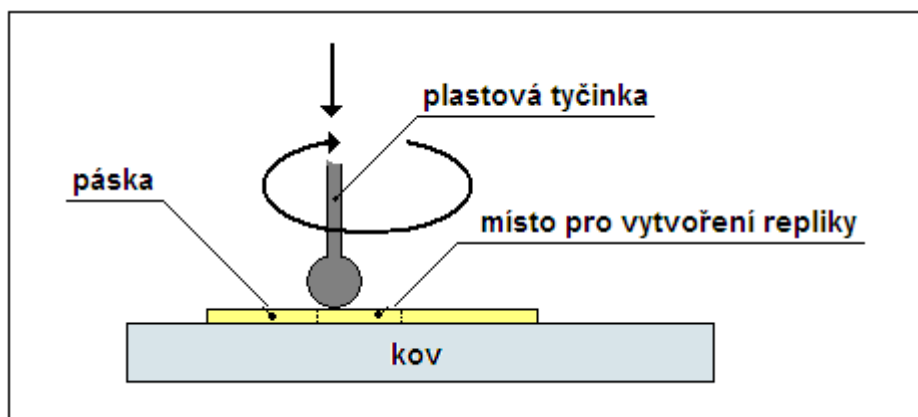
Sp_{1m^2} – plocha rozvinutého povrchu na $1m^2$ povrchu [m^2]

ΔSp – zvětšení plochy při rozvinutí povrchu $1m^2$ [m^2]

6.5 STANOVENÍ PROFILU POVRCHU PÁSKOU METODOU REPLIKY DLE ČSN EN ISO 8503-5

Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů – Část 5: Určení profilu povrchu páskou metodou repliky.[77]

Stanovení kotvícího profilu se provádí pomocí pásky, která umožňuje měřit a zaznamenávat největší rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším místem povrchu. Páska je tvořena stlačitelnou plastickou mikropěnou nanesenou na polyesterový podklad o velice rovnoměrné tloušťce ($50 \mu m \pm 2 \mu m$). Páska je tvořena čtverečkem pro vytvoření repliky. Strana na které je umístěna pěna (čtvereček), se přiloží na měřený povrch a pomocí přítlačného nástroje (plastová tyčinka s kulovou hlavou) je povrch ocelového substrátu vtlačěn do povrchu pěny, až se objeví tmavá místa – tím je získán otisk povrchu. K vyhodnocení se používá mikrometr s přítlačnou silou 1,5 N. Kontaktní plochy mikrometru musejí být kruhové. Otisk je umístěn mezi stykové plochy mikrometru a změří se profil. Jde o průměrnou hodnotu maximální vzdálenosti od vrcholu k prohlubni – R_{max} [μm]. [77]



Obr. 6.9 Vytvoření otisku reliéfu pomocí pásky s mikropěnou

6.6 STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

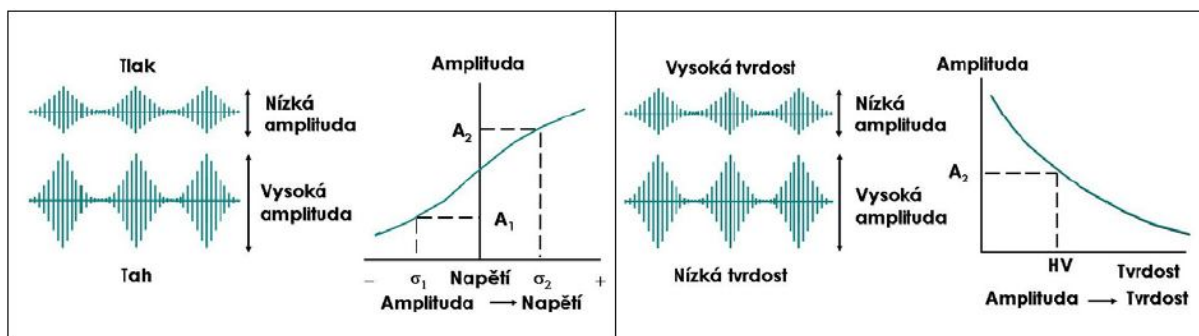
Povrchové napětí je jedním z rozhodujících kritérií ovlivňujících adhezi nátěrových hmot a tedy i kvalitu celého nátěrového systému. Povrchové napětí se určuje pomocí inkoustů a je měřeno v mN/m (milinewton na metr). Čím vyšší je povrchové napětí materiálu, tím lepší je přilnavost nátěrové hmoty k povrchu materiálu. Důvodem nízkého povrchového napětí může být znečištění povrchu (tuky, olej, otisky prstů...), nebo může být dáno materiálem. Obecným limitem je často uváděna hodnota 38 mN/m. [62] Pak platí:

špatné smáčení povrchu (špatná přilnavost)	< 38mN/m <	dobré smáčení povrchu (dobrá přilnavost)
---	------------	---

Při testování nejprve použijeme testovací inkoust se střední hodnotou 38mN/m. Zůstane-li linka inkoustu po dobu dvou sekund na povrchu a neslije se v kapky, pak povrchové napětí odpovídá hodnotě použitého inkoustu nebo je vyšší. Můžeme použít testovací inkoust s vyšší hodnotou, postup opakujeme tak dlouho dokud se linka vytvořená inkoustem neslije do malých kapiček. Pokud se linka již při použití inkoustu s hodnotou 38 mN/m slije a vytvoří kapky pak použijeme testovací inkoust s nižší hodnotou. Metoda dává rychlý a velmi jasný obraz o stupni ošetření a čistotě povrchu.

6.7 STANOVENÍ ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ

Zbytková napětí na povrchu ocelového substrátu byla měřena na VŠB – TU Ostrava, Katedra mechanické technologie - Ústav svařování, pomocí magnetoelastické metody. Zjednodušeně se dá tato metoda popsat, jako odezva materiálu na působení magnetického pole. Přítomnost a rozložení napětí ovlivňují cestu, po které se domény ubírají směrem ke snadné orientaci ve směru magnetizace. V důsledku toho u materiálů, jako jsou železo, většina ocelí, kobalt, takové napětí ji zvyšuje viz. Obr. 6.10.



Obr. 6.10 Vliv Barkhausenova šumu v závislosti (vlevo) zbytkového napětí (vpravo) tvrdosti [22, 23]

Pro kvantitativní hodnocení napětí je nutná kalibrace metody, kdy se Barkhausenův šum převádí na hodnotu napětí dle patřičné kalibrační křivky. Tato metoda je nedestruktivní s rychlou odezvou, proto umožňuje měřit v řádově větším počtu sledovaných míst. Magnetoelastickou metodu Barkhausenova šumu je možné použít v těchto oblastech [21]:

- měření zbytkových napětí za předpokladu, že mikrostrukturní parametry se pohybují v rozumných mezích,
- měření strukturních změn, za předpokladu, že úroveň napětí se pohybuje v rozumných mezích,
- zkoušení vad, které mohou vyvolávat změny v napětí nebo mikrostruktuře.[21]

6.8 STANOVENÍ TLOUŠŤKY MOKRÉHO A SUCHÉHO NÁTĚROVÉHO FILMU DLE ČSN EN ISO 2808

Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808 - Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky.[69]

Tato mezinárodní norma popisuje řadu metod, které lze použít pro měření tloušťky povlaků aplikovaných na podklad materiálu. Jsou zde popsány metody pro stanovení tloušťky mokrého a suchého filmu nátěrových hmot. Tloušťka povlaku odpovídá vzdálenosti mezi povrchem povlaku a povrchem podkladu.

6.8.1 Stanovení tloušťky mokrého filmu měřícím hřebenem

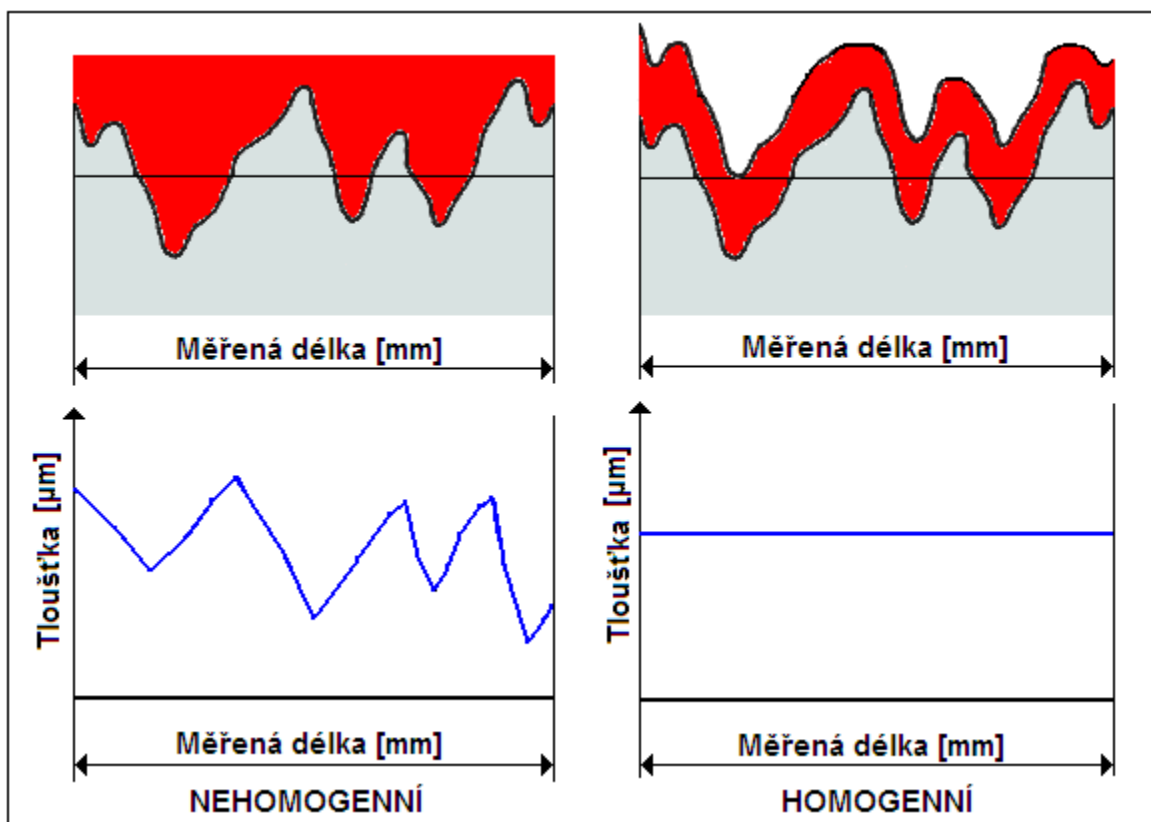
Tato metoda slouží ke kontrole tloušťky právě aplikované mokré vrstvy nátěrové hmoty. Tloušťka mokré vrstvy aplikovaného povlaku se kontroluje pomocí měřícího hřebene vyrobeného z korozivzdorné oceli, který není napadán rozpouštědly použité nátěrové hmoty. Zuby hřebene jsou označeny odpovídající hodnotou mezery, musí být čisté, nesmí být opotřebované či poškozené. Měřící hřeben je přiložen na povrch plochého vzorku tak, aby jeho zuby byly kolmo k rovině povrchu. Nejvyšší stupeň zubu, který byl označen nátěrovou hmotou, je zaznamenán jako tloušťka mokrého filmu. [69]

6.8.2 Měření tloušťky suché vrstvy – magnetická metoda

Tloušťka suchého filmu se stanoví nedestruktivní metodou. Měřicí přístroj obsahuje elektromagnet pro stanovení tloušťky povlaku podle změn v magnetickém poli po přiložení k feromagnetickému podkladu. Přístroj je umístěn kolmo k povlaku, tloušťka povlaku je vypočítána ze změny magnetického toku.

6.9 RENTGENOVÁ FLUORESCENČNÍ ANALÝZA

Tato metoda v principu umožňuje hodnocení chemického složení materiálu ovšem s omezením bez lehkých prvků. Pro hodnocení chemického složení je potřeba přesné kalibrace specifickými kalibračními standardy. Tato metoda je uzpůsobena i pro hodnocení homogenity tloušťky tenkých vrstev a jejich změn, opět na základě přesné kalibrace. Určité informace lze ovšem získat i ze záznamu samotných spekter na materiálových systémech.[35]

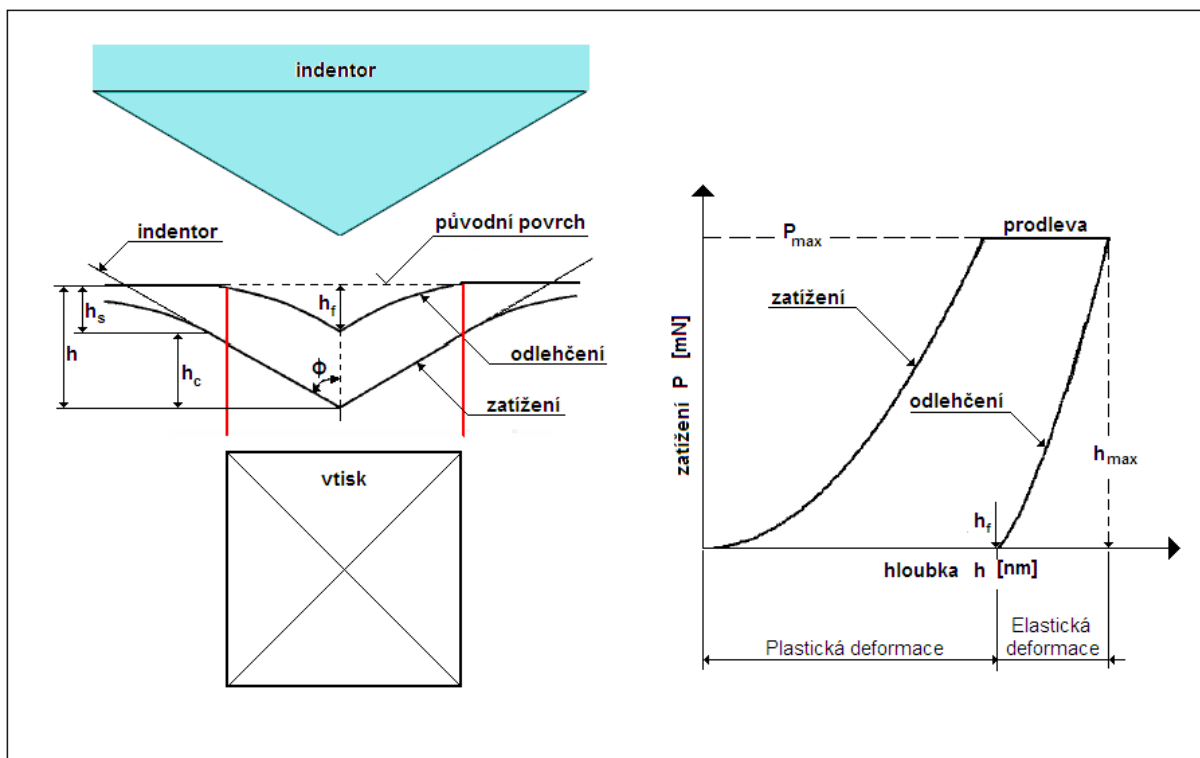


Obr. 6.11 Znázornění možného záznamu z měření nehomogenní a homogenní vrstvy nátěrového systému

6.10 NANOINDENTAČNÍ ZKOUŠKY

Jedná se o přímou metodu, která slouží k zjištění mikromechanických vlastností materiálu. Metoda spočívá v zatlačování miniaturního hrotu do materiálu na úrovni nm-μm. Použitý nanoindentor může být tvaru sférického, pyramidální (Berkowich), jehlan (Vickers) a další. Tato metoda dává možnosti hodnocení nejen tvrdostních charakteristik tenkých

vrstev a povrchových vrstev, ale z nanoindentačních křivek lze hodnotit i průběh závislosti hloubky proniknutí indentoru a velikosti působícího normálového zatížení. Z těchto křivek lze určovat nejen nanotvrdost, ale určuje se i poměr elastické a plastické deformace, modul pružnosti atd.[61]



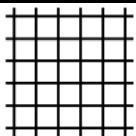
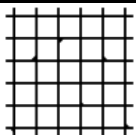
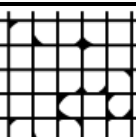
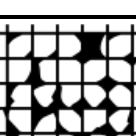
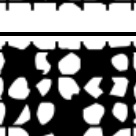
Obr. 6.12 Schéma měření pomocí nanoindentace [55]

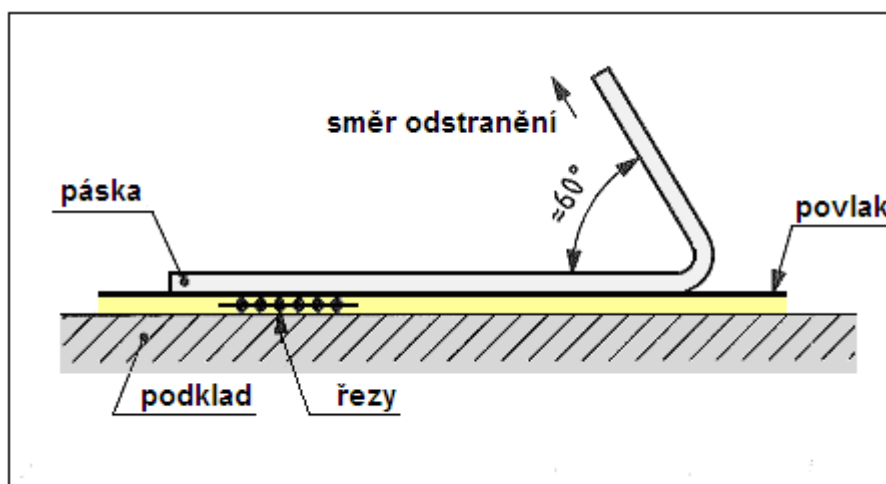
6.11 MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI DLE ČSN EN ISO 16276-2

Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-2 – Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez.[67]

Mřížkovou zkouškou je hodnocena odolnost nátěrových systémů vůči adheznímu a koheznímu poškození řezem. Mřížková zkouška je vhodná pro povlaky o tloušťce suché vrstvy do 250 μm a provádí se dle ČSN EN ISO 2409 – Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška.[68] Princip mřížkové zkoušky spočívá ve vytvoření vzájemně kolmých a rovnoběžných řezů prořezaných až k podkladu tak, aby vznikly shodné čtverce. Rozestupy jednotlivých řezů jsou dány tloušťkou nátěru. Na tyto řezy je přilepena a pevně přitlačena lepicí páska šíře 50 mm, která po stržení způsobí odstranění vytvořených čtverců v povlaku, které mají po provedení řezů špatnou přilnavost. Vyhodnocení mřížky se provádí dle ČSN EN ISO 2409 a je vyjádřeno stupněm, který odpovídá pozorovanému poškození.

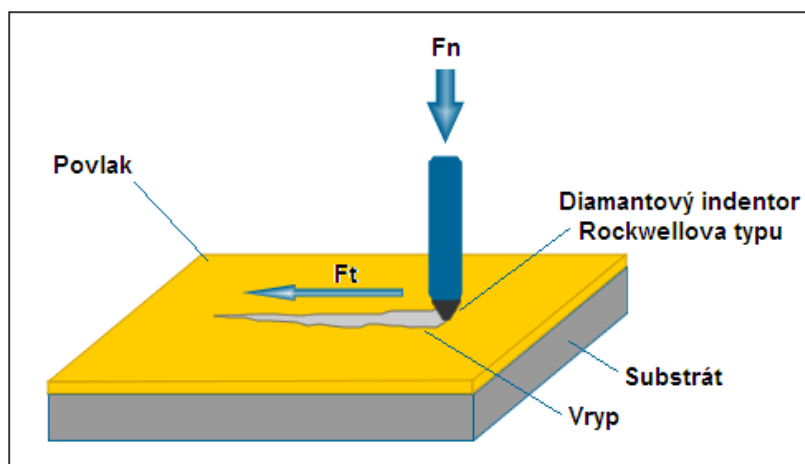
Tabulka 6.4 Klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 2409 [67]

Klasifikace	Popis poškození	Vzhled mřížky
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec není poškozen	
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5%.	
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5%, ale menší než 15%.	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech částečně nebo zcela, a/nebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15%, ale menší než 35%.	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35%, ale menší než 65%.	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4.	-

**Obr. 6.13** Poloha samolepící pásky bezprostředně před odstraněním z mřížky dle ČSN EN ISO 2409 [67]

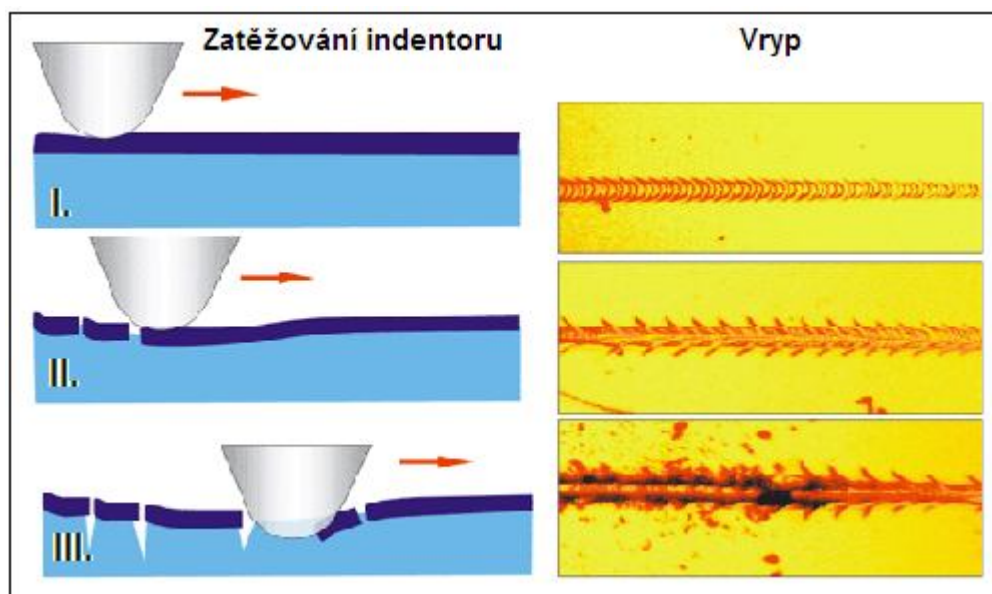
6.12 VRYPOVÁ INDENTACE

Scratch test, nebo-li vrypová zkouška, slouží k měření adhezních a kohezních vlastností vrstev a povlaků. Podstatou experimentu je spojitě monitorování zátěžné síly a polohy hrotu, který se přímočaře pohybuje po zkoumaném povrchu. Nejčastěji se pro tyto zkoušky používá kónický „Rockwellův“ tvar indentoru, pro přesnější měření pak „Cube-corner“ indentor. [5]



Obr. 6.14 Schéma vrypové indentace [56]

Zátěž indentoru je buď konstantní nebo lineárně rostoucí. Podstatou experimentu je spojitě monitorování zátěžné síly a polohy hrotu, který se pohybuje přímočaře po povrchu vzorku. Při zatěžování je zaznamenáván průběh třecí síly F_t a normálové síly F_n aplikované na indentor, hodnoty koeficientu tření ($\mu = F_t / F_n$). Obecně platí, že k porušení systému vrstva-substrát při scratch testu dochází v důsledku kombinace elasticko-plastického indentačního napětí, tření a vnitřního pnutí.[5]



Obr. 6.15 Tři případy které mohou nastat během jediné vrypové indentace (I. pohybující se na povrchu s menšími trvalými škodami, II. trhliny v povlaku v důsledku napětí v tahu za indentorem, III. úplné porušení povlaku až na podklad) [56]

6.13 ZKOUŠKA SOLNOU MLHOU ČSN EN ISO 9227

Zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227 – Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou. [78]

Norma přesně stanoví požadavky pro zkoušky solnou mlhou. Zkouška solnou mlhou probíhá ve zkušební komoře, která zajišťuje pravidelné rozprašování solné mlhy za stálé teploty, transformované z roztoku chloridu sodného (NaCl). Příprava roztoku probíhá při teplotě 25 ± 2 °C, kde do destilované nebo deionizované vody rozpustíme takové množství chloridu sodného, aby vznikla koncentrace o hodnotě 50 ± 5 g/l, která je stanovena pro tuto zkoušku. Zkušební vzorky musí být umístěny v komoře lícovou stranou nahoru pod úhlem sklonu v rozmezí 15° až 30° ke svislici. Doporučené doby zkoušky jsou 2 h, 6 h, 24 h, 48 h, 96 h, 168 h, 240 h, 480 h, 720 h, 1000 h. [78]

Provozní podmínky solné komory LIEBISCH S400 M-TR:

- Tlak vzduchu 3÷4 bar
- Tlak vody 2,5÷3 bar
- Průtok vody 0,45 l/hod
- Teplota prostředí 35 ± 2 °C
- Teplota navlhčovače 55 °C
- Vlhkost 100 %
- Solná mlha - 5 % vodný roztok NaCl

6.14 HODNOCENÍ DEGRADACE NÁTĚRŮ DLE ČSN EN ISO 4628

Degradace nátěrů dle ČSN EN ISO 4628 – Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu.

Tato norma se skládá z deseti samotných částí a slouží k hodnocení různých degradací povlaků.

6.14.1 Hodnocení defektů a intenzity změn dle ČSN EN ISO 4628-1

Hodnocení defektů a intenzity změn dle ČSN EN ISO 4628-1 – Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity změn vzhledu – Část 1: Obecný úvod a systém klasifikace. [71]

Norma definuje systém používaný pro klasifikaci množství a velikosti defektů a intenzity změn vzhledu nátěrů. Klasifikace velikosti defektů se provádí pomocí číselné stupnice viz. Tab. 6.5.

Tabulka 6.5 Číselné schéma pro klasifikaci velikosti defektů dle ČSN EN ISO4628-1 [71]

Klasifikace	Velikost defektů
0	Neviditelný bez desetinásobného zvětšení
1	Viditelný pouze při zvětšení do desetinásobku
2	Právě viditelný prostým okem nebo s korekcí zrakových vad
3	Zřetelně viditelný pouhým okem nebo s korekcí zrakových vad (do 0,5 mm)
4	0,5 mm až 5 mm
5	Větší než 5 mm

6.14.2 Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2

Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2 – Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování. [72]

Norma popisuje metodu pro hodnocení stupně puchýřkování nátěrů porovnáním s obrázkovými standardy uvedenými v normě, které znázorňují puchýřky o velikosti 2, 3, 4 a 5, a každou tuto velikost v množství (hustotě) 2, 3, 4 a 5.

6.14.3 Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3

Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3 – Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prorezavění. [32]

Norma popisuje metodu stanovení stupně prorezavění nátěrů porovnáním s obrázkovými standardy uvedenými v normě, znázorňují ocelové povrchy s nátěrem, které jsou poškozeny v různém rozsahu současně prorezavěním pronikajícím nátěrem a viditelným podkorodováním.

Ri – stupeň prorezavění – charakterizuje stupeň vytvořeného prorezavění (rez pronikající na povrch a viditelné podkorodování) na nátěru.

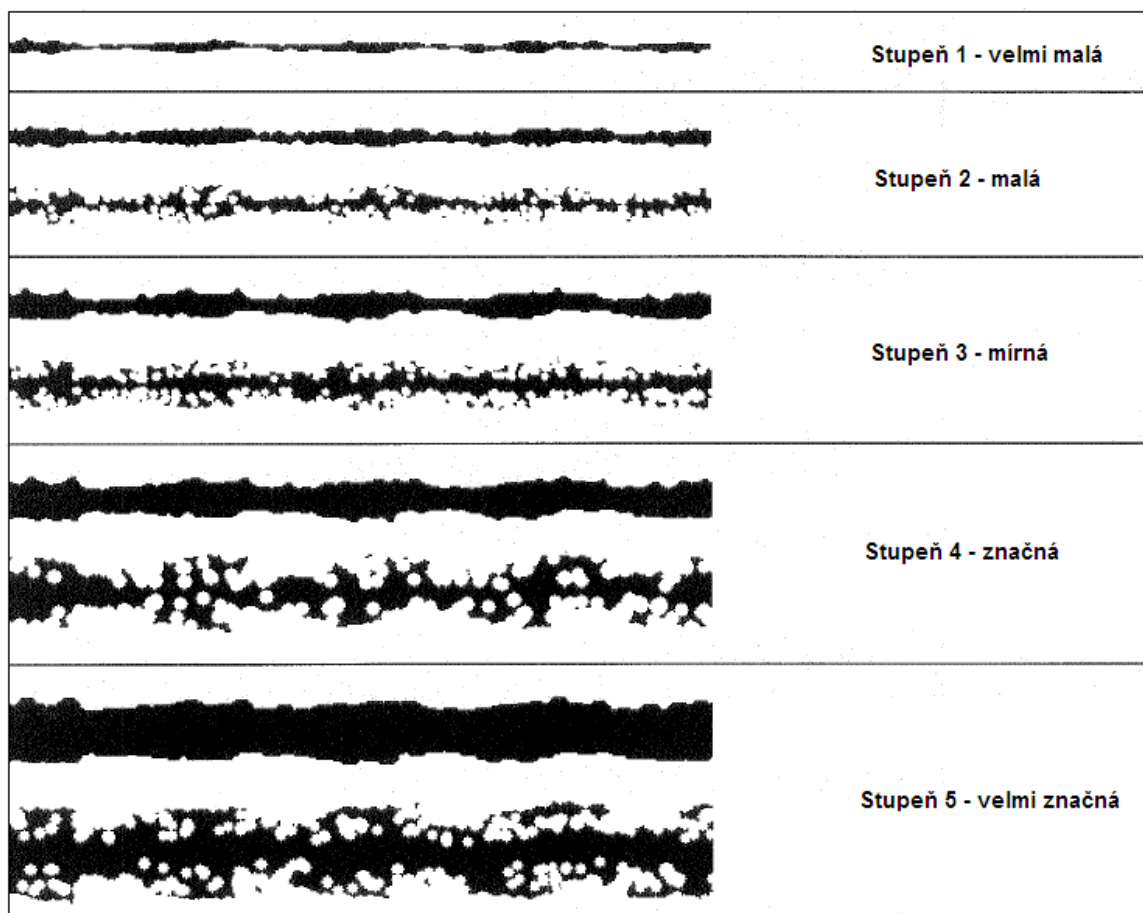
Tabulka 6.6 Stupeň prorezavění a plocha s výskytem rzi dle ČSN EN ISO4628-3 [73]

Stupeň prorezavění	Plocha s výskytem rzi [%]
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 až 50

6.14.4 Hodnocení stupně delaminace a koroze nátěrů v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8

Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu ČSN EN ISO 4628-8 – Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu. [74]

Norma popisuje metodu hodnocení delaminace a koroze v okolí řezu na zkušebním vzorku s nátěrem po expozici v korozním prostředí. Korozí je myšlena plocha viditelných korozních produktů a delaminace je symbolizována ztrátou přilnavosti povlaku. Stupeň delaminace je hodnocen buď okamžitě po ukončení expozice nebo po odstranění povlaku. Plochu delaminace i koroze lze stanovit měřením a výpočtem nebo pomocí obrazových standardů. V tomto případě bylo vyhodnocení provedeno dle níže uvedených obrazových standardů.



Obr. 6.16 Obrazové standardy pro hodnocení delaminace a koroze v okolí řezu [74]

7 HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

7.1 VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ ČISTOTY DLE ČSN EN ISO 8501-1

Hodnocení čistoty povrchu po mechanickém či ručním čištění byl stanoven dle ČSN EN ISO 8501-1. Povrch ocelového substrátu byl mechanicky a ručně očištěn a připraven pro aplikaci nátěrové hmoty. Hodnocení bylo provedeno u vzorků G a S – otrýskaných hodnocení stupni Sa a u vzorku B – vzorek mechanicky broušený hodnocený stupněm St.

Tabulka 7.1 Hodnocení čistoty povrchu

Typ vzorku	Stupeň čistoty
G	Sa 2 ¹ / ₂
S	Sa 2 ¹ / ₂
V	-
B	St 3
T	-

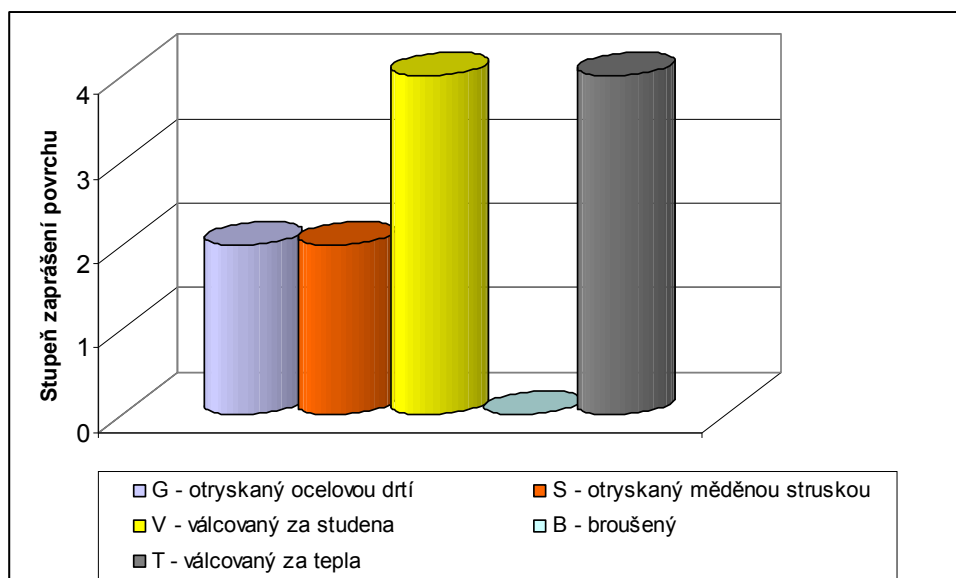
Mechanicky upravený povrch různých druhů ocelových substrátů byl dostatečně mechanicky očištěn a připraven pro aplikaci nátěrového systému.

7.2 HODNOCENÍ ČISTOTY POVRCHU DLE ČSN ISO 8502 - 3

Hodnocení bylo provedeno v laboratoři VŠB – TU Ostrava, teplota vzduchu 20°C, vlhkost 24%. Na povrch každého typu vzorku byla nalepena adhezní páska (průhledná, samolepící páska šíře 25 mm) o délce 200mm. Tato páska byla lehce přitlačena k povrchu a po té sejmuta pod úhlem 180°. Podklad pro zobrazení byl použit v barvě kontrastní k barvě prachu, tedy bílý list papíru. Po té bylo provedeno vyhodnocení nečistot na těchto páskách pomocí 10-ti násobného zvětšení lupou.

Tabulka 7.2 Stupeň zaprášení a třída velikosti částic

vzorek	stupeň zaprášení	
G	2	lehké zaprášení
S	2	lehké zaprášení
V	4	vyšší zaprášení
B	0	žádné zaprášení
T	4	vyšší zaprášení
vzorek	třída velikost prachových částic	
G	2	od 50μm do 100 μm
S	2	od 50μm do 100 μm
V	0	neviditelné při zvětšení 10x
B	0	neviditelné při zvětšení 10x
T	4	od 0,5mm do 2,5mm



Graf. 7.1 Stupně zaprášení jednotlivých povrchů

Největší hustota výskytu prachu byla zjištěna na povrchu ocelových substrátů válcovaných za studena a za tepla, velikost částic byla u těchto povrchů různá, neboť u povrchu válcovaného za studena se velikost prachových částic pohybovala v mikrometrických rozměrech zatím co u vzorku válcovaného za tepla, tedy bezešvé trubky byly sejmuté částice z povrchu mnohem většího rozměru, do 2,5 mm. To bylo způsobeno technologií, pomocí které byl tento povrch vytvořen. Povrch válcovaný za tepla byl pokryt vrstvou okují, které na adhezní pásce během zkoušky ulpívaly. Otryskané povrchy vykazovaly zaprášení druhého stupně. Tyto čtyři povrchy byly před měřením odmaštěny, tedy ulpělé nečistoty na povrchu by měly být minimální. Broušený povrch byl dodán již ve stavu odmaštěném, povrch byl dokonale zbaven nečistot, zkouška neprokázala zaprášení povrchu vzorku.

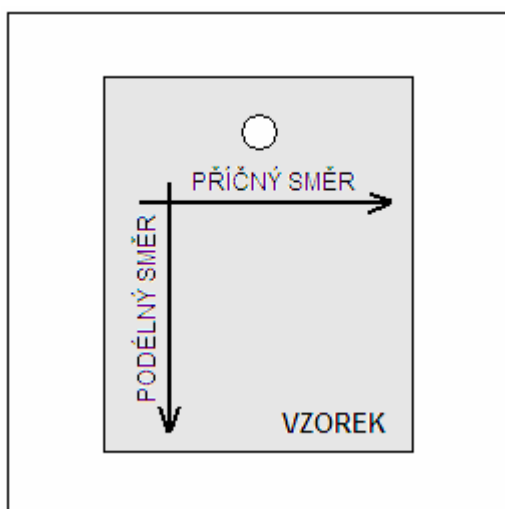
7.3 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU DLE ČSN EN ISO 4287

Pro měření podkladového materiálu byl použit měřicí přístroj *Mitutoyo Surftest – SJ 301*. Tento přístroj je schopen hodnotit povrchové textury s nejrůznějšími parametry podle různých národních a mezinárodních norem. Výsledky měření jsou provedeny digitálně/graficky na dotykovém panelu přístroje. Měření drsnosti bylo na všech vzorcích provedeno ve směru příčném a podélném, protože některé povrchy se jeví jako anizotropní, tzn. že takový povrch má v příčném a podélném směru velmi rozdílné parametry drsnosti profilu.



Obr. 7.1 Měřící přístroj Mitutoyo Surftest – SJ 301

Povrch byl hodnocen ve dvou směrech, v příčném a podélném směru viz. Obr. 7.2.



Obr. 7.2 Znázornění horizontálního a vertikálního směru při měření

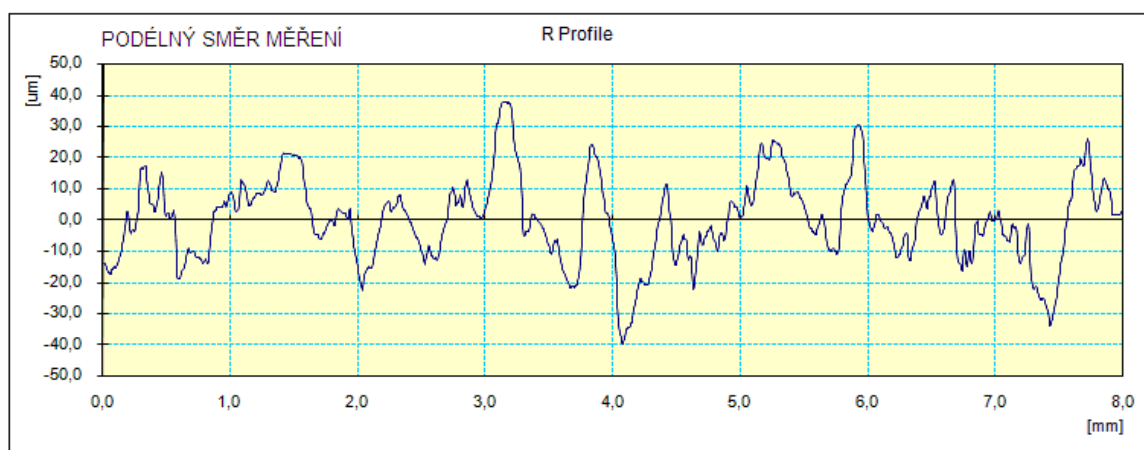
λ_c – filtr profilu [mm] – definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti

L – základní délka měřeného úseku [mm]

7.3.1 G – povrch otryskaný ocelovou drtí - GP 18

Tabulka 7.3 Parametry měření

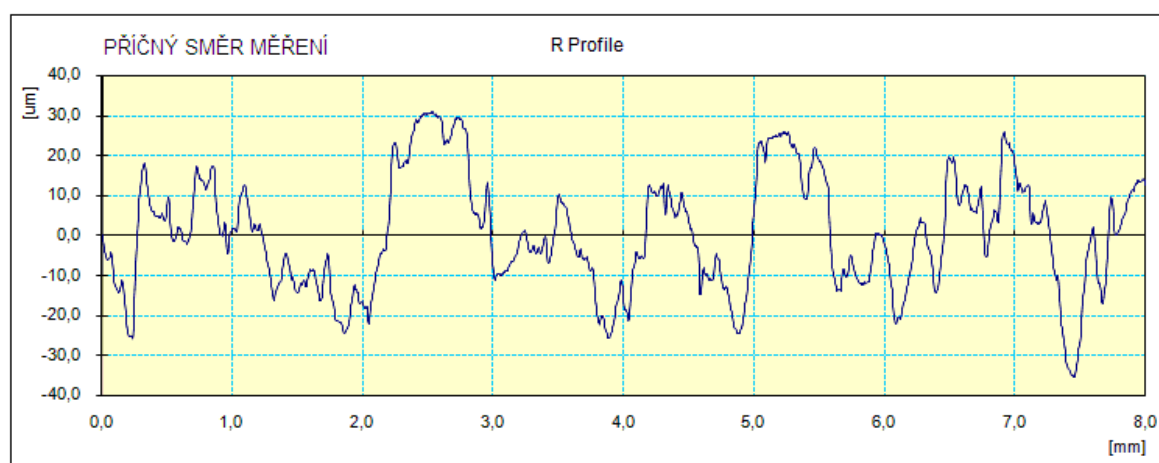
Parametry měření			
Standard	ISO 97	L	8 mm
Profile	R	λ_c	8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS



Graf. 7.2 Graf profilu drsnosti $R_a = 10,45 \mu\text{m}$, $R_z = 77,71 \mu\text{m}$

Tabulka 7.4 Naměřené parametry drsnosti vzorku

G - parametry drsnosti otryskaného povrchu ocelovou drtí – GP 18										
↓	R_a [μm]	R_z [μm]	R_q [μm]	R_p [μm]	R_v [μm]	R_{Sm} [μm]	R_{Pc} [μm]	R_{sk} [-]	R_{ku} [-]	R_{Lo} [mm]
1	11,77	70,89	14,25	33,45	37,44	622	16,10	0,08	2,40	8,263
2	12,86	71,92	15,64	33,08	38,84	761	13,10	-0,32	2,54	8,228
3	12,99	80,89	16,22	39,41	41,48	763	13,10	0,06	2,84	8,253
4	13,09	92,48	17,43	41,58	50,90	1049	9,50	-0,44	3,43	8,250
5	10,45	77,71	13,50	37,79	39,91	811	12,30	0,01	3,32	8,217
6	13,52	88,64	17,20	40,93	47,72	889	11,20	-0,13	2,96	8,241
7	12,15	87,65	15,08	42,56	45,10	1069	9,40	-0,12	2,91	8,270
8	10,89	68,25	13,48	30,29	37,96	833	12,00	-0,24	2,70	8,281
9	12,32	79,01	14,85	37,3	41,71	648	15,40	0,17	2,39	8,299
10	13,37	95,76	17,26	36,14	59,63	834	12,00	-0,56	3,48	8,332
Ø	12,34	81,32	15,49	37,25	44,07	827,90	12,41	-0,21	2,90	8,263



Graf. 7.3 Graf profilu drsnosti $R_a = 11,86 \mu\text{m}$, $R_z = 66,20 \mu\text{m}$

Tabulka 7.5 Naměřené parametry drsnosti vzorku

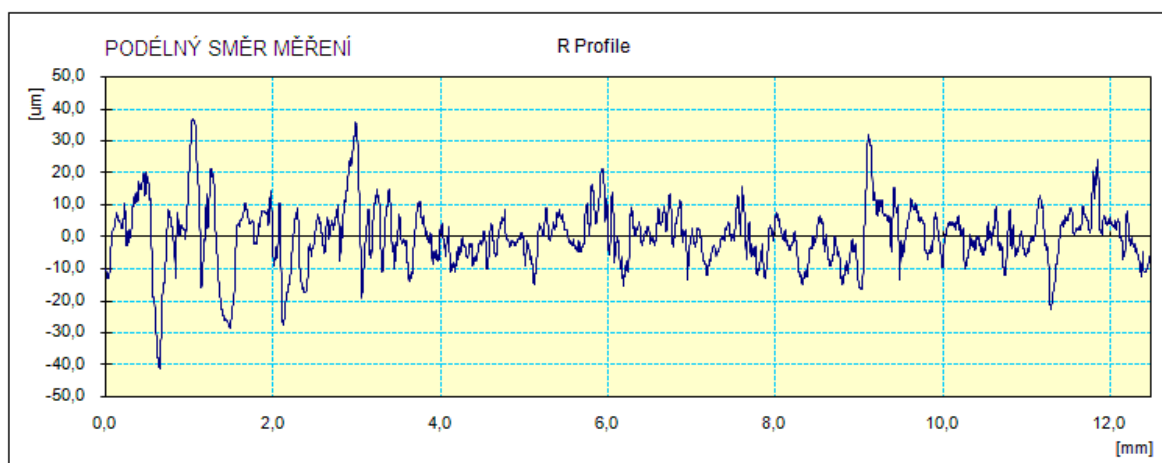
G - parametry drsnosti otryskaného povrchu ocelovou drtí – GP 18										
→	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	RSm [μm]	RPc [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	RLo [mm]
1	11,66	92,55	15,22	39,55	53,00	930	10,80	-0,31	3,70	8,217
2	12,79	79,42	15,47	32,26	47,16	585	17,10	-0,16	2,69	8,343
3	12,81	82,97	15,67	42,10	40,88	681	14,70	-0,26	2,74	8,297
4	10,69	61,13	12,66	22,50	38,63	606	16,50	-0,31	2,35	8,222
5	12,17	88,51	15,01	35,45	54,06	894	11,20	-0,24	2,86	8,279
6	11,57	71,98	15,18	30,15	41,88	600	16,70	-0,26	2,64	8,266
7	11,59	85,78	14,94	35,94	49,84	945	10,60	-0,13	3,17	8,231
8	12,24	76,53	15,20	27,08	49,47	776	12,90	-0,56	3,30	8,250
9	11,86	66,20	14,44	30,66	35,54	1241	8,10	0,19	2,42	8,197
10	11,07	77,10	14,49	46,84	30,27	673	14,90	0,53	3,91	8,220
Ø	11,85	78,22	14,83	34,25	44,07	793,10	13,35	- 0,30	2,98	8,252

Drsnost (Ra) otryskaného povrchu ocelovým granulátem je v podélném i příčném směru měření téměř shodná, stejně tak parametr Rz – maximální výška profilu, to znamená, že lze tento povrch zařadit do skupiny izotropních povrchů. Na povrchu se vyskytuje více objektů s výškou menší než je střední výška profilu – hlubší údolí, povrch vykazuje dobré vlastnosti nosnosti profilu, avšak nátěrová hmota může hůře vyplňovat vzniklé prohlubně a tím se může zhoršit adheze povlaku k ocelovému substrátu. Parametr špičatosti (Rku) se pohybuje kolem hodnoty 3, tedy nelze jednoznačně říci zda na povrchu ocelového substrátu převládají rýhy a výstupky špičatějšího či zaoblenějšího charakteru.

7.3.2 S – povrch otryskaný měděnou struskou – 4VVD-4

Tabulka 7.6 Parametry měření

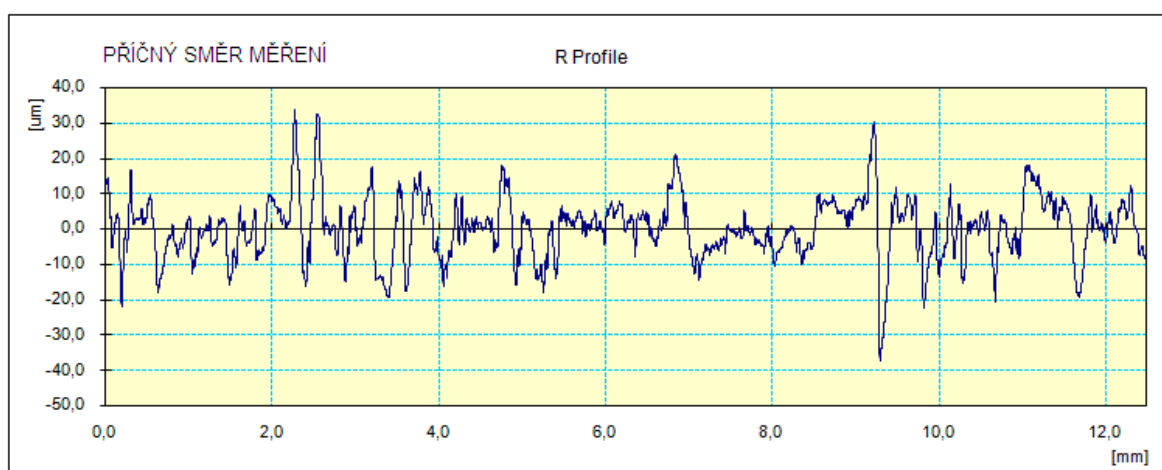
Parametry měření			
Standard	ISO 97	L	12 mm
Profile	R	λc	2.5 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS



Graf. 7.4 Graf profilu drsnosti $R_a = 6,98\mu\text{m}$, $R_z = 52,80\mu\text{m}$

Tabulka 7.7 Naměřené parametry drsnosti vzorku

S - parametry drsnosti otryskaného povrchu měděnou struskou – 4VVD-4										
↓	R_a [μm]	R_z [μm]	R_q [μm]	R_p [μm]	R_v [μm]	RS_m [μm]	RP_c [μm]	RS_k [-]	Rku [-]	RL_o [mm]
1	7,17	65,49	10,11	26,79	38,70	447	22,30	-0,73	5,38	2,663
2	7,10	57,27	9,86	21,59	35,68	407	24,60	-0,82	4,63	2,627
3	6,76	54,37	9,36	23,77	30,60	518	19,30	-0,64	4,57	2,639
4	6,68	45,68	8,65	22,67	23,00	426	23,40	-0,09	3,45	2,630
5	6,26	48,71	8,47	22,62	26,09	496	20,20	-0,24	4,49	2,624
6	6,98	52,80	9,17	29,66	23,15	384	26,00	0,48	4,32	2,646
7	6,75	56,38	9,46	27,68	28,70	595	16,80	0,06	4,89	2,610
8	6,89	52,65	9,35	21,60	31,05	514	19,40	-0,43	3,95	2,616
9	6,53	54,13	9,06	31,22	22,92	804	12,40	0,65	4,54	2,609
10	6,39	46,87	8,58	22,88	24,00	492	20,30	-0,35	3,70	2,606
Ø	6,75	53,44	9,21	25,05	28,39	508,30	20,47	- 0,45	4,39	2,627



Graf. 7.5 Graf profilu drsnosti $R_a = 6,42\mu\text{m}$, $R_z = 50,56\mu\text{m}$

Tabulka 7.8 Naměřené parametry drsnosti vzorku

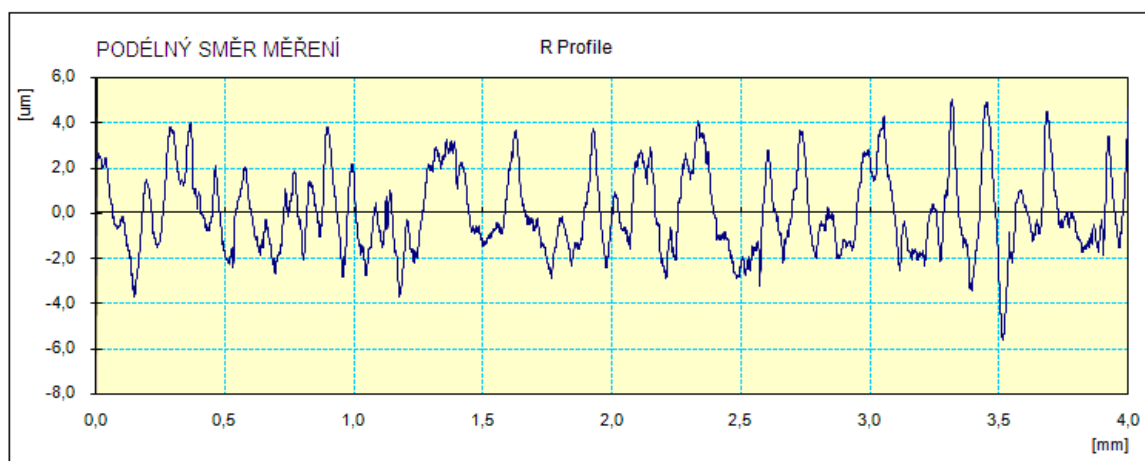
S - parametry drsnosti otryskaného povrchu měděnou struskou – 4VVD-4										
→	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	RSm [μm]	RPc [cm]	Rsk [-]	Rku [-]	RLo [mm]
1	6,60	65,57	9,30	21,67	33,90	593	16,90	-0,74	5,23	2,604
2	5,98	53,66	8,55	22,48	31,18	540	18,50	-0,71	5,12	2,612
3	6,00	45,99	8,09	19,70	26,29	621	16,10	-0,26	3,89	2,597
4	5,71	48,95	8,15	20,81	28,08	464	21,50	-0,61	4,85	2,609
5	7,15	63,56	10,24	27,76	35,80	608	16,40	-0,48	5,51	2,615
6	6,85	55,16	9,50	26,90	28,26	592	16,90	0,05	4,84	2,632
7	6,42	50,56	8,54	26,96	23,59	559	17,90	0,10	4,16	2,616
8	5,88	45,22	7,84	22,71	22,50	433	23,10	0,01	4,42	2,620
9	6,67	54,87	9,41	22,36	32,51	602	16,60	-0,84	4,69	2,625
10	6,70	51,57	8,64	18,00	33,56	470	21,30	-1,13	5,65	2,629
Ø	6,40	53,51	8,83	22,94	29,57	548,20	18,52	- 0,49	4,84	2,616

Drsnost (Ra) otryskaného povrchu měděnou struskou je v podélném i příčném směru měření téměř shodná, stejně tak parametr Rz – maximální výška profilu, to znamená, že lze tento povrch zařadit do skupiny izotropních povrchů. Na povrchu se vyskytuje více objektů s výškou menší než je střední výška profilu – hlubší údolí, povrch vykazuje dobré vlastnosti nosnosti profilu, avšak nátěrová hmota může hůře vyplňovat vzniklé prohlubně a tím se může zhoršit adheze povlaku k ocelovému substrátu stejně tak jako u povrchu otryskaného ocelovým granulátem. Parametr špičatosti (Rku) je vyšší než hodnota 3, tento povrch se tedy vyznačuje ostřejším reliéfem, tedy rýhy a výstupky na povrchu ocelového substrátu jsou špičatější, což může také negativně ovlivnit životnost nátěrového systému.

7.3.3 V – válcovaný povrch

Tabulka 7.9 Parametry měření

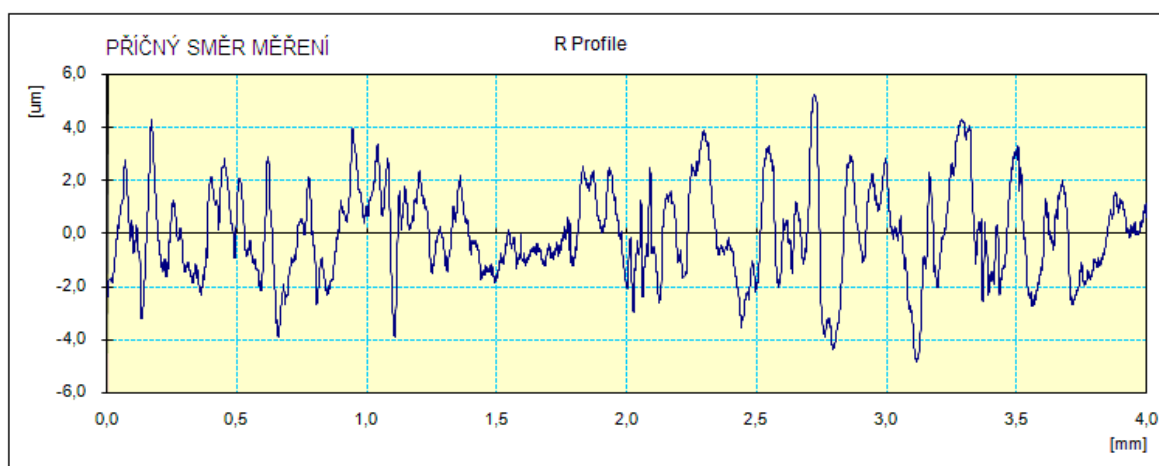
Parametry měření			
Standard	ISO 97	L	4 mm
Profile	R	λc	0.8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS



Graf. 7.6 Graf profilu drsnosti $R_a = 1,49 \mu\text{m}$, $R_z = 8,06 \mu\text{m}$

Tabulka 7.10 Naměřené parametry drsnosti vzorku

V - parametry drsnosti válcovaného povrchu										
↓	R_a [μm]	R_z [μm]	R_q [μm]	R_p [μm]	R_v [μm]	R_{Sm} [μm]	R_{Pc} [μm]	R_{sk} [-]	R_{ku} [-]	R_{Lo} [mm]
1	1,85	10,38	2,29	6,13	4,25	305	32,80	0,68	2,94	0,809
2	1,82	9,06	2,19	5,24	3,82	301	33,20	0,51	2,55	0,809
3	1,73	8,88	2,12	4,95	3,93	157	63,60	0,51	2,70	0,810
4	1,68	8,51	2,00	4,39	4,12	199	50,20	0,24	2,28	0,810
5	1,72	8,64	2,06	4,66	3,99	188	53,20	0,25	2,29	0,809
6	1,26	7,84	1,60	3,57	4,27	163	61,50	-0,07	3,24	0,806
7	1,47	8,22	1,76	4,38	3,84	235	72,50	0,15	2,78	0,807
8	1,27	6,58	1,53	3,76	2,82	200	50,00	0,35	2,39	0,806
9	1,37	7,05	1,64	3,75	3,31	160	62,40	0,28	2,38	0,807
10	1,49	8,06	1,81	4,21	3,86	164	60,90	0,43	2,46	0,807
Ø	1,57	8,32	1,90	4,50	3,82	207,20	54,03	+0,35	2,60	0,808



Graf. 7.7 Graf profilu drsnosti $R_a = 1,40 \mu\text{m}$, $R_z = 8,00 \mu\text{m}$

Tabulka 7.11 Naměřené parametry drsnosti vzorku

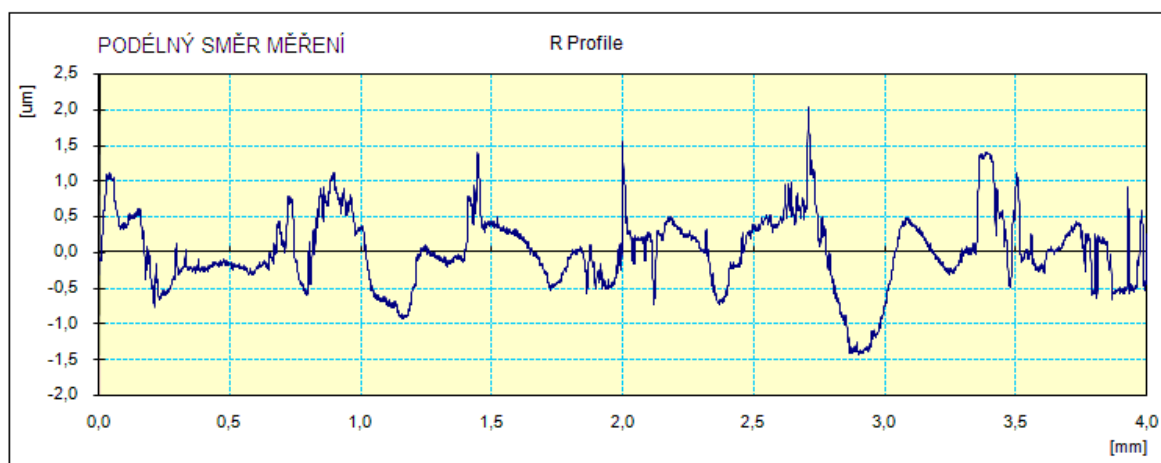
V - parametry drsnosti válcovaného povrchu										
→	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	RSm [μm]	RPc [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	RLo [mm]
1	1,33	7,37	1,64	4,23	3,13	206	48,50	0,53	3,22	0,808
2	1,64	7,67	1,93	4,26	3,42	313	33,00	0,36	2,10	0,807
3	1,42	7,39	1,74	4,26	3,13	199	50,20	0,56	2,68	0,807
4	1,30	7,14	1,59	3,85	3,28	167	59,70	0,35	2,66	0,807
5	1,39	7,58	1,67	3,89	3,69	181	55,10	0,29	2,47	0,808
6	1,62	9,18	1,97	5,30	3,88	141	71,00	0,33	2,82	0,812
7	1,40	8,00	1,72	4,31	3,69	157	63,80	0,30	2,63	0,809
8	1,50	8,08	1,83	4,56	3,53	147	67,90	0,43	2,74	0,809
9	1,33	8,09	1,65	4,53	3,56	158	63,20	0,52	3,11	0,809
10	1,55	9,05	1,93	5,34	3,72	175	57,20	0,60	3,10	0,809
Ø	1,45	7,96	17,51	4,45	3,50	184,4	86,86	+0,43	2,75	0,809

Drsnost (Ra) válcovaného povrchu za studena je v podélném i příčném směru měření téměř shodná, stejně tak parametr Rz – maximální výška profilu, to znamená, že lze tento povrch zařadit do skupiny izotropních povrchů. Na povrchu se vyskytuje více objektů s výškou větší než je střední výška profilu – více štítů. Na tomto povrchu by se dala očekávat dobrá přilnavost vzhledem k nižší drsnosti a kladnému parametru asymetrie (Rsk), což zde může poukazovat na vhodnost kotvícího profilu pro tenké organické povlaky. Na to navazuje i parametr špičatosti (Rku), dle kterého lze rýhy a výstupky vzniklé na povrchu charakterizovat spíše zaoblenějšího charakteru.

7.3.4 B – plechy s povrchem broušeným

Tabulka 7.12 Parametry měření

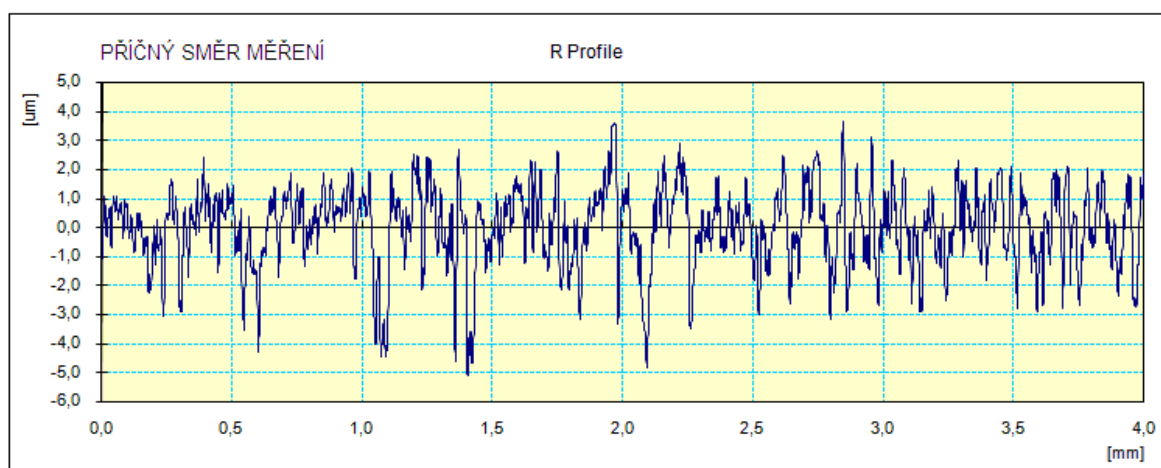
Parametry měření			
Standard	ISO 97	L	4 mm
Profile	R	λc	0.8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS



Graf. 7.8 Graf profilu drsnosti $R_a = 0,40 \mu\text{m}$, $R_z = 2,40 \mu\text{m}$

Tabulka 7.13 Naměřené parametry drsnosti vzorku

B - parametry drsnosti broušeného vzorku										
↓	R_a [μm]	R_z [μm]	R_q [μm]	R_p [μm]	R_v [μm]	RS_m [μm]	RP_c [μm]	R_{sk} [-]	R_{ku} [-]	RL_o [mm]
1	0,57	3,47	0,71	1,86	1,60	279	35,90	0,20	3,12	0,802
2	0,43	2,77	0,55	1,64	1,12	134	74,50	0,35	3,34	0,803
3	0,45	2,47	0,54	1,48	0,99	353	28,30	0,45	2,65	0,803
4	0,38	2,46	0,48	1,44	1,02	161	62,20	0,35	4,31	0,802
5	0,41	2,75	0,51	1,48	1,27	317	31,60	-0,27	2,96	0,801
6	0,54	3,09	0,68	1,51	1,58	251	39,90	0,07	3,29	0,802
7	0,35	2,00	0,43	1,11	0,90	345	29,00	0,07	3,27	0,801
8	0,30	1,76	0,38	0,81	0,96	279	35,80	-0,07	3,08	0,801
9	0,40	2,40	0,50	1,49	0,91	430	23,30	0,32	3,18	0,801
10	0,30	2,07	0,38	1,23	0,84	247	40,50	0,23	4,09	0,801
Ø	0,41	2,52	0,52	1,41	1,12	279,60	40,10	+0,24	3,33	0,802



Graf. 7.9 Graf profilu drsnosti $R_a = 1,04 \mu\text{m}$, $R_z = 6,97 \mu\text{m}$

Tabulka 7.14 Naměřené parametry drsnosti vzorku

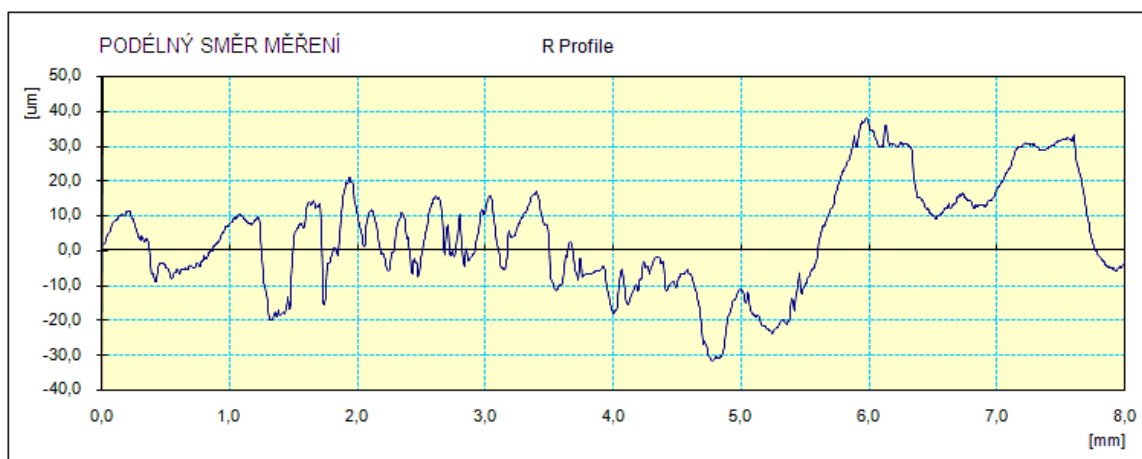
B - parametry drsnosti broušeného vzorku										
→	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	RSm [μm]	RPc [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	RLo [mm]
1	1,09	9,04	1,45	3,24	5,80	97	103,60	-0,99	5,24	0,825
2	0,95	7,86	1,28	2,97	4,89	83	120,90	-0,91	4,71	0,826
3	0,83	6,42	1,07	2,58	3,84	78	128,70	-0,68	3,57	0,823
4	1,04	6,97	1,35	2,91	2,06	80	125,30	-0,62	3,46	0,827
5	1,01	7,89	1,33	2,87	5,02	84	118,70	-0,80	4,25	0,829
6	0,91	7,12	1,25	2,15	4,97	88	113,40	-1,19	5,53	0,823
7	0,90	7,32	1,18	2,77	4,55	89	112,10	-0,70	4,37	0,824
8	0,91	6,26	1,17	2,09	4,17	80	124,50	-0,89	3,86	0,823
9	0,97	6,88	1,24	2,99	3,89	76	131,10	-0,39	3,38	0,825
10	1,00	7,24	1,29	2,89	4,35	96	103,90	-0,64	3,74	0,825
Ø	0,96	7,30	1,26	2,75	4,35	85,10	118,22	-0,79	4,21	0,825

Drsnost (Ra) broušeného povrchu se v podélném i příčném směru měření výrazně mění, stejně tak parametr Rz – maximální výška profilu, což je patrné i z výše uvedených grafů profilu drsnosti. Je to dáno technologií opracování tohoto povrchu. Broušení bylo provedeno v jednom směru, tedy je tato rozdílnost očekávatelná a tento povrch lze zařadit mezi povrchy anizotropní. I parametr asymetrie (Rsk) se liší, v podélném směru (směr broušení) se tento parametr vykazuje kladnou hodnotou, což značí větší výskyt objektů s výškou větší než je střední výška profilu, naopak v příčném směru se povrch vyznačuje větší četností objektů s výškou menší než je střední výška (hlubší údolí). Rýhy a výstupky jsou v obou směrech spíše ostřejšího charakteru, v příčném směru jsou tyto výstupky a prohlubně ostřejší než ve směru podélném, to je způsobeno tvarem použitého brusiva a směrem broušení. Na povrchu se vyskytuje více objektů s výškou větší než je střední výška profilu – více štítů. Při aplikaci nátěrové hmoty by se dalo říci, že nastane stejný případ, jako u povrchu otrýskaného měděnou struskou, k hrošímu vyplnění takto ostrých a výrazných prohlubní nátěrovou hmotou, ale drsnost a maximální výška profilu je výrazně nižší, než u vzorků otrýskaných, tzn. že výsledná tloušťka povlaku by měla být dostačující.

7.3.5 T – válcovaný povrch za tepla - trubka

Tabulka 7.15 Parametry měření

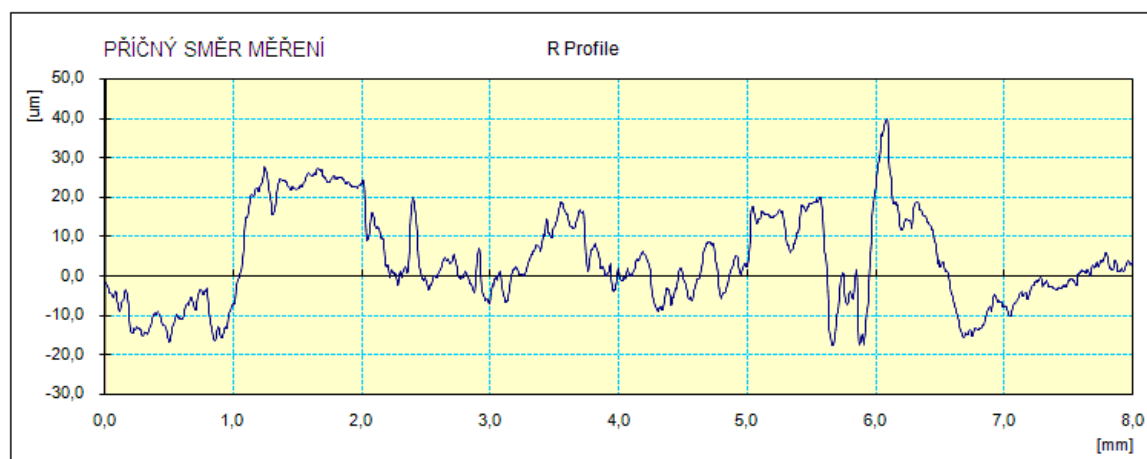
Parametry měření			
Standard	ISO 97	L	8 mm
Profile	R	λc	8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS



Graf. 7.10 Graf profilu drsnosti $R_a = 12,72 \mu\text{m}$, $R_z = 69,96 \mu\text{m}$

Tabulka 7.16 Naměřené parametry drsnosti vzorku

T - parametry drsnosti válcovaného povrchu za tepla - trubka										
↓	R_a [μm]	R_z [μm]	R_q [μm]	R_p [μm]	R_v [μm]	R_{Sm} [μm]	R_{Pc} [μm]	R_{sk} [-]	R_{ku} [-]	R_{Lo} [mm]
1	12,72	69,96	15,80	37,95	32,01	781	12,80	0,83	2,69	8,125
2	13,83	74,86	17,03	45,60	29,27	1590	6,30	-0,60	2,58	8,074
3	14,55	74,01	17,57	27,63	46,39	1113	9,00	-0,75	2,57	8,220
4	10,35	51,66	12,67	28,36	23,30	1090	9,20	-0,53	2,18	8,080
5	9,66	54,64	12,18	22,91	31,72	1746	5,70	-0,84	2,94	8,089
6	12,22	68,37	14,94	36,36	32,01	2465	4,10	0,49	2,56	8,082
7	13,06	60,21	15,68	31,17	29,04	1682	5,90	-0,01	1,93	8,126
8	15,43	78,17	19,37	30,41	47,76	2690	3,70	-0,27	2,28	8,056
9	15,96	81,00	19,85	47,07	33,93	2983	3,40	0,54	2,65	8,170
10	8,91	51,81	11,01	24,55	27,26	1164	8,60	-0,63	2,53	8,147
Ø	12,67	66,47	15,61	33,20	33,27	1307	6,87	-0,55	2,49	8,117



Graf. 7.11 Graf profilu drsnosti $R_a = 9,54 \mu\text{m}$, $R_z = 57,6 \mu\text{m}$

Tabulka 7.17 Naměřené parametry drsnosti vzorku

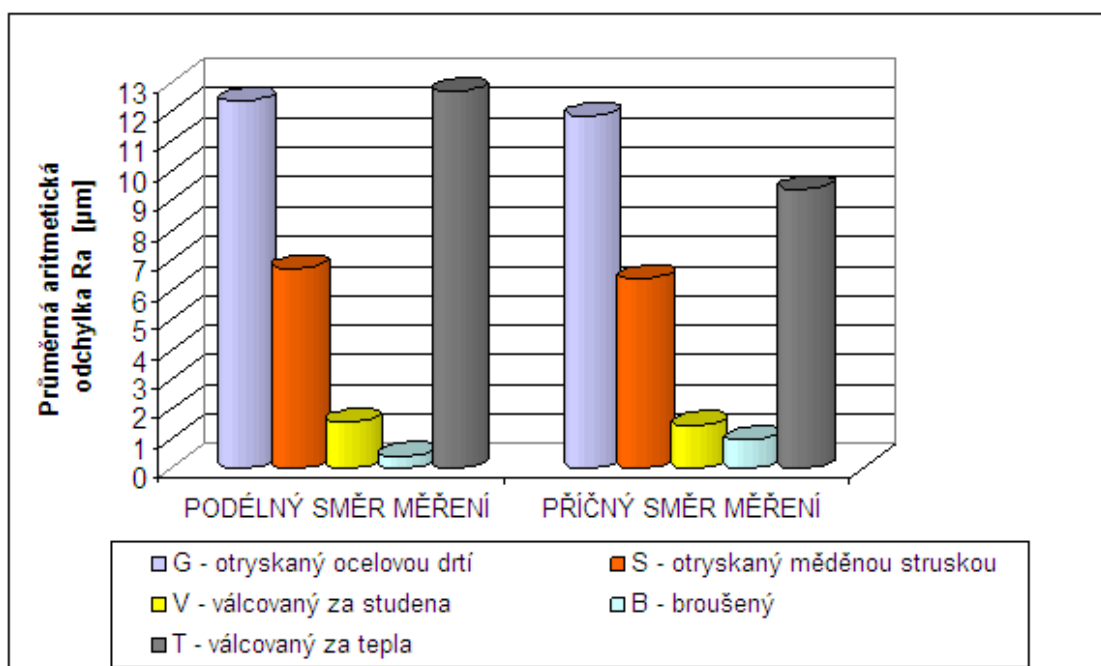
T - parametry drsnosti válcovaného povrchu za tepla - trubka										
→	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	RSm [μm]	RPc [cm]	Rsk [-]	Rku [-]	RLo [mm]
1	9,54	57,60	12,38	39,75	17,85	1225	8,20	1,24	3,00	8,124
2	9,48	55,23	12,05	29,43	25,80	2133	4,70	1,07	2,95	8,053
3	9,08	57,34	11,53	29,51	27,84	1733	5,80	0,80	2,86	8,056
4	10,84	71,05	13,62	36,31	34,74	1391	7,20	0,48	3,13	8,067
5	7,45	55,52	9,86	38,55	19,97	2610	3,80	1,55	5,35	8,040
6	8,58	44,59	10,55	24,56	20,03	1053	9,50	0,84	2,37	8,074
7	8,32	43,77	10,09	24,89	18,88	2355	4,20	0,74	2,22	8,053
8	8,89	55,66	11,72	35,44	20,23	1915	5,20	1,46	3,34	8,097
9	10,59	68,02	13,53	41,03	26,99	2127	4,70	1,20	3,74	8,089
10	11,18	82,93	14,55	36,77	46,16	1945	5,10	0,41	3,52	8,084
Ø	9,40	59,17	11,99	33,62	25,85	1419	5,84	+0,98	3,25	8,074

Hodnoty drsnosti (Ra) a maximální výšky profilu (Rz) se u povrchu za tepla válcované bezešvé trubky v podélném a příčném směru měření od sebe liší. Nelze však s přesností říci, zda se tento povrch řadí mezi izotropní či anizotropní, lze jej tedy označit jako povrch s méně výrazným směrem nerovností, což je dáno použitou technologií výroby. Rýhy a výstupky na povrchu v podélném směru měření jsou oblejšího charakteru a povrch má v tomto směru lepší nosnost, naopak v příčném směru je spíše ostřejšího charakteru a povrch je pokryt více štíty. Hodnoty parametrů drsností profilu se výrazně liší od parametrů povrchu válcovaného za studena. Tato vysoká drsnost je dána trhlami a odloupenými kusy okujené vrstvy, která je vedlejším produktem technologie válcování za tepla. Tato vrstva okují pokrývá převážnou většinu povrchu vyrobeného touto technologií. I když je drsnost srovnatelná s drsností ocelového substrátu připraveného otryskáváním ocelovou drtí, nelze tento povrch charakterizovat stejně. Např. parametr Rmr - průměrná šířka prvku profilu v rámci vzorové délky se výrazně liší, na něj navazuje nenormovaný parametr RPc, který udává počet vrcholů vyskytujících se na povrchu po délce 1cm. Zde je počet vrcholů nízký, protože délka jednotlivých segmentů je výrazně vyšší než u ostatních ocelových substrátů. U tohoto povrchu je předpokladem, že degradace tenkého povlaku bude z většiny způsobena znečištěním povrchu vrstvou okují než drsností povrchu ocelového substrátu.

Zhodnocení

Naměřené zprůměrované hodnoty některých parametrů drsnosti jsem pro větší přehlednost uvedla do grafů a srovnala jsem je mezi sebou. Vyhodnotila jsem nejen parametr drsnosti (Ra), ale i parametr maximální výšky profilu, tedy kotvící profil (Rz), protože má v poslední době větší důležitost a to z hlediska aplikace povlaků. Tyto hodnoty Rz mohou značně ovlivnit životnost a z ekonomického hlediska i spotřebu nátěrových hmot.

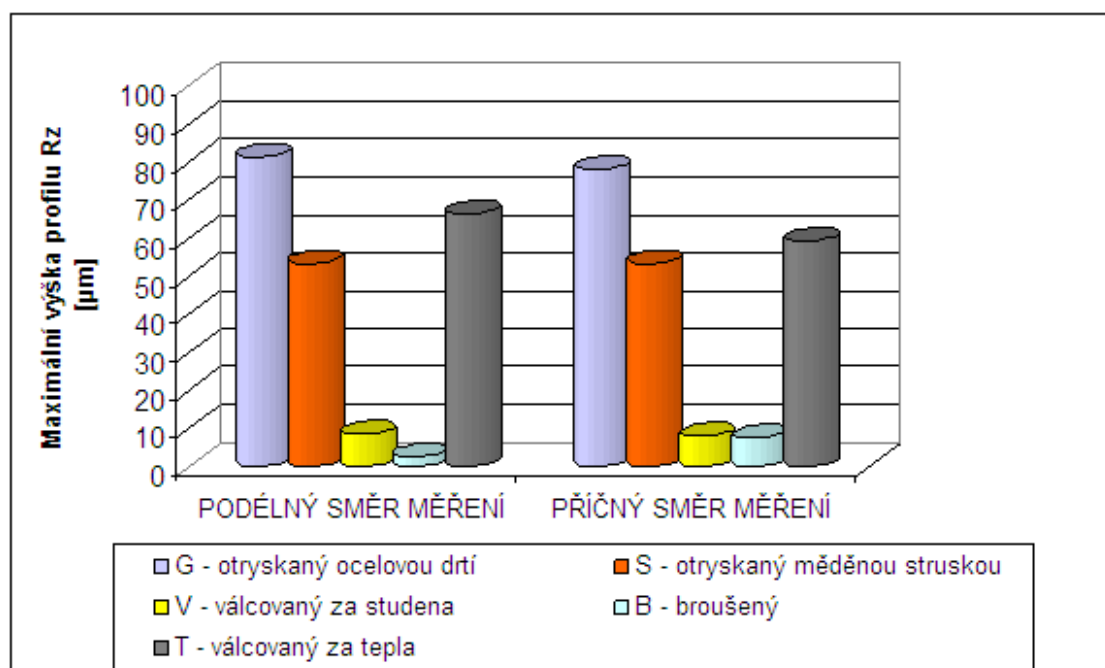
Dále jsou z hlediska charakteristiky povrchu důležité také parametry asymetrie (R_{sk}) a špičatosti (R_{ku}), ty mohou ovlivnit nejen smáčení povrchu, ale i adhezi nátěrové hmoty.



Graf 7.12 Srovnání průměrné aritmetické odchylky R_a jednotlivých povrchů

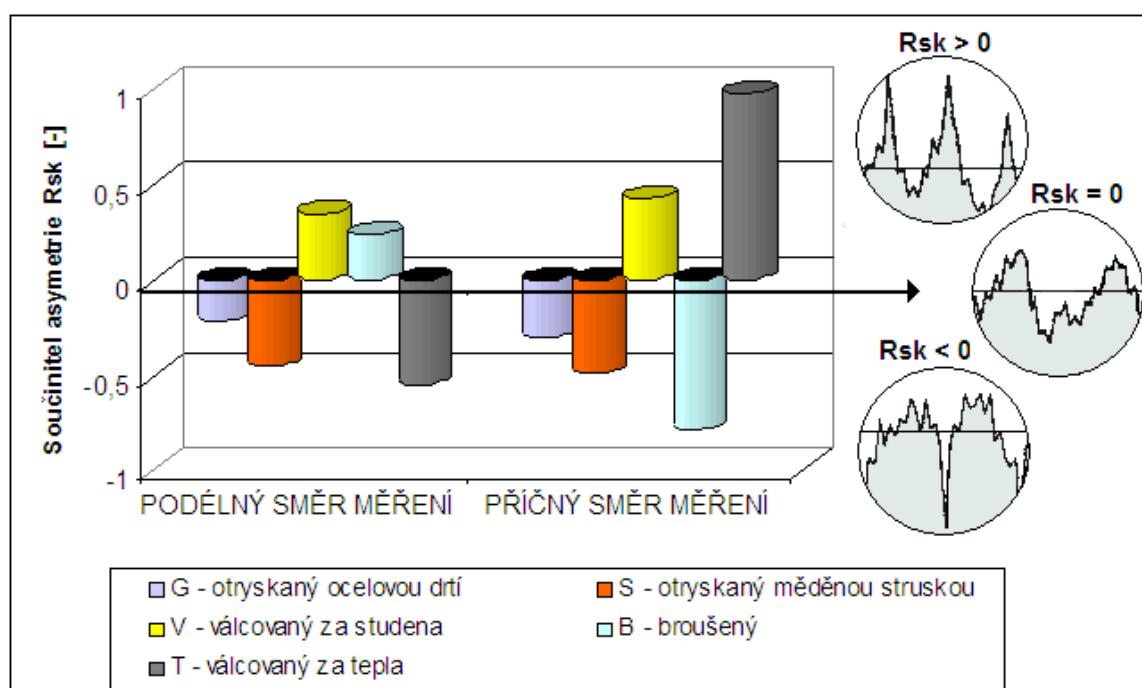
Z grafu 7.12 je patrné, že nejvyšší hodnoty drsnosti dosahuje povrch otryskaný ocelovou drtí (G) ($R_{a\text{PODÉL}} = 12,34 \mu\text{m}$, $R_{a\text{PŘÍČ}} = 11,85 \mu\text{m}$) a za tepla válcovaná trubka (T) ($R_{a\text{PODÉL}} = 12,67 \mu\text{m}$, $R_{a\text{PŘÍČ}} = 9,40 \mu\text{m}$), na dalším místě se jedná o povrch otryskaný měděnou struskou (S) jehož drsnost je o polovinu nižší než u výše zmíněných vzorků ($R_{a\text{PODÉL}} = 6,75 \mu\text{m}$, $R_{a\text{PŘÍČ}} = 6,40 \mu\text{m}$), válcovaný plech za studena (V), jehož drsnost je téměř 8x nižší než u vzorků otryskaných ocelovou drtí a válcované trubky za tepla, byl hodnocen v pořadí jako druhý povrch s nejnižším parametrem drsnosti ($R_{a\text{PODÉL}} = 1,57 \mu\text{m}$, $R_{a\text{PŘÍČ}} = 1,45 \mu\text{m}$), nejnižší drsnost byla naměřena u vzorku broušeného (B) ($R_{a\text{PODÉL}} = 0,41 \mu\text{m}$, $R_{a\text{PŘÍČ}} = 0,96 \mu\text{m}$). Protože je tento povrch broušen pouze v jednom směru je očekávatelné, že se jeho drsnost v podélném a příčném směru bude výrazně lišit, v tomto případě je to až o $\frac{1}{2}$ hodnoty.

Stejné pořadí povrchů bude i při seřazení dle parametru R_z – největší výška profilu. Největší parametr R_z byl naměřen u vzorku otryskaného ocelovou drtí (G) ($R_{z\text{PODÉL}} = 81,32 \mu\text{m}$, $R_{z\text{PŘÍČ}} = 78,22 \mu\text{m}$), povrch za tepla válcované trubky (T) ($R_{z\text{PODÉL}} = 66,47 \mu\text{m}$, $R_{z\text{PŘÍČ}} = 59,17 \mu\text{m}$) má hodnotu R_z srovnatelnou s povrchem otryskaným měděnou struskou (S) ($R_{z\text{PODÉL}} = 53,44 \mu\text{m}$, $R_{z\text{PŘÍČ}} = 53,51 \mu\text{m}$). Válcovaný povrch za studena (V) vykazuje hodnotu R_z podstatně nižší než je u předchozích vzorků ($R_{z\text{PODÉL}} = 8,32 \mu\text{m}$, $R_{z\text{PŘÍČ}} = 7,96 \mu\text{m}$). Nejnížší parametr R_z byl naměřen u povrchu broušeného (B) a i zde se tyto naměřené hodnoty, stejně jako hodnoty parametru R_a , v podélném a příčném směru výrazně liší ($R_{z\text{PODÉL}} = 2,52 \mu\text{m}$, $R_{z\text{PŘÍČ}} = 7,30 \mu\text{m}$).

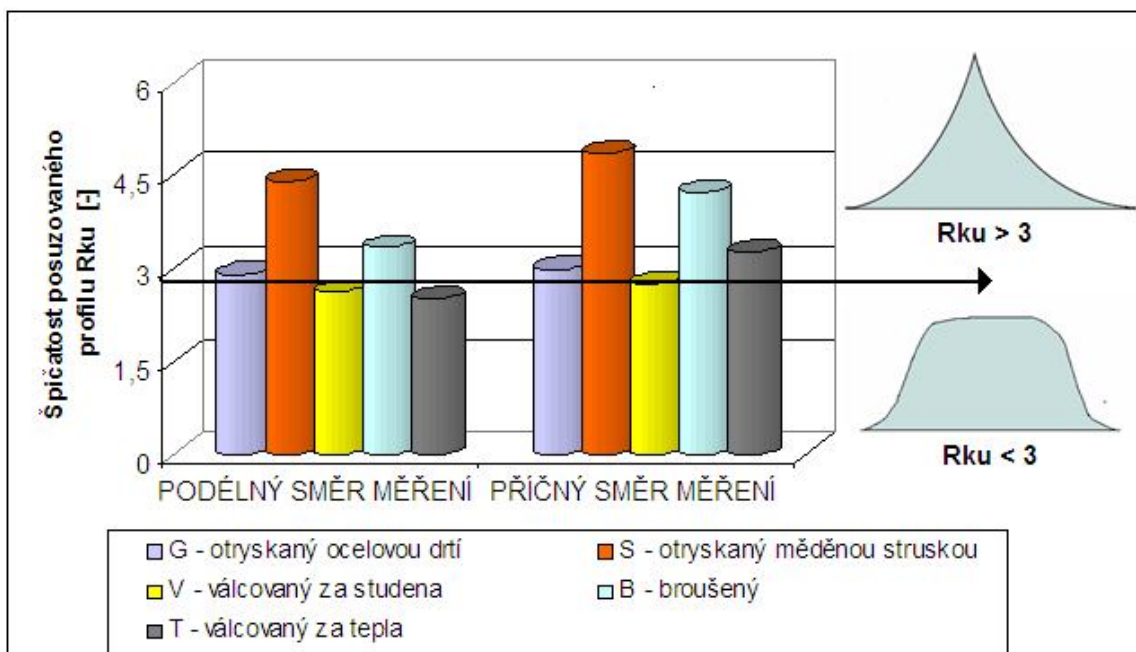


Graf 7.13 Srovnání maximální výšky profilů Rz jednotlivých povrchů

Pro lepší definování povrchu, jsem mezi sebou porovnala i součinitele asymetrie R_{sk} daných povrchů a parametr špičatosti R_{ku} . Tyto dva parametry nám blíže definují rozmanitost profilu drsnosti a charakteristiku tvaru výstupků či rýh vyskytujících se na povrchu ocelového substrátu. Naměřené hodnoty jsou níže uvedeny v grafech 7.14 a 7.15. Pro lepší představu je u každého grafu uvedena i přibližná obrazová vizualizace charakteru povrchu pro daný parametr měření.



Graf 7.14 Srovnání součinitele asymetrie R_{sk}



Graf 7.15 Srovnání špičatosti posuzovaného profilu

U povrchů otryskaných ocelovou drtí (G) a měděnou struskou (S) se součinitel asymetrie pohybuje v obou směrech v záporných hodnotách, tedy se tento povrch vyznačuje dobrou nosností profilu, tzn. že je povrch charakterizován hlubokými prohlubněmi, které nejsou u vzorku otryskaného ocelovou drtí tak špičatého charakteru, jako u povrchu otryskaného měděnou struskou, což je charakterizováno parametrem R_{ku} – špičatost posuzovaného profilu. Válcovaný povrch za studena (V), jehož součinitel asymetrie se v obou směrech jeví jako kladný, je pokryt spíše výstupky (štíty), které budou spíše zaobleného charakteru. U povrchu broušeného (B) je součinitel asymetrie u podélného a příčného směru měření opačný. V podélném směru, tedy ve směru broušení, je povrch tvořen spíše výstupky (štíty) ostřejšího charakteru, zatím co v příčném směru dominují spíše rýhy (prohlubně) výrazně ostřejšího charakteru. Za tepla válcovaná trubka (T) má asymetrii povrchu přesně opačnou než povrch broušený. V podélném směru (po směru válcování) se povrch vyznačuje spíše rýhami, které jsou zaobleného charakteru, naopak v příčném směru měření je povrch tvořen převážně výstupky (štíty) ostřejší povahy.

Z tohoto rozboru jednotlivých povrchů, si dovoluji tvrdit, že reliéf povrchu válcovaného za studena a broušeného se mohou jevit jako vhodnější varianty podkladu pro aplikaci tenké vrstvy nátěrové hmoty, oba tyto povrchy se vykazují výrazně nižší drsností a kotvícím profilem, který by mohl být pro tyto tenké vrstvy povlaku vyhovujícím.

7.4 STANOVENÍ ROZVINUTÉ PLOCHY POVRCHU

Plocha byla vypočtena dle postupu uvedeného v kapitole 6.4. hodnoty byly vypočteny pro každou úpravu povrchu a hodnoty byly zapsány níže do tabulky.

Tabulka 7.18 Vypočtené parametry povrchu

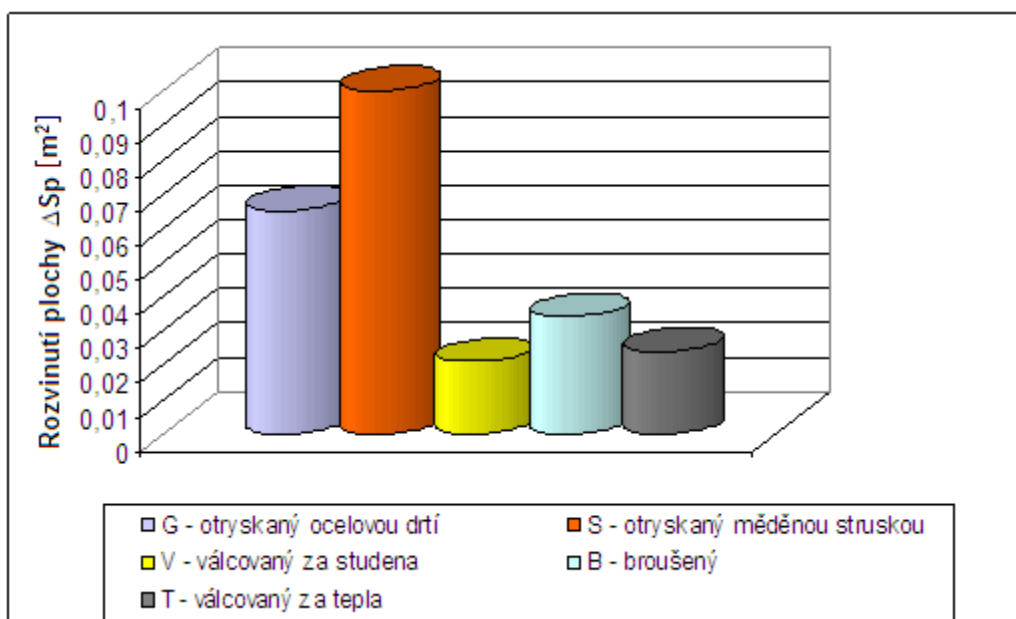
Parametry	Označení vzorků				
	G	S	V	B	T
$RLo_{1m(PD)}$ [mm]	1032,9	1050,8	1010,0	1002,5	1014,6
$RLo_{1m(PR)}$ [mm]	1031,5	1046,4	1011,25	1031,3	1009,3
Sp_{1m^2} [m ²]	1,065	1,100	1,021	1,034	1,024
ΔSp [m ²]	0,065	0,100	0,021	0,034	0,024

$RLo_{1m(PD)}$ – rozvinutá délka na 1m délky v podélném směru [mm]

$RLo_{1m(PR)}$ – rozvinutá délka na 1m délky v příčném směru [mm]

Sp_{1m^2} – plocha rozvinutého povrchu na 1m² povrchu [m²]

ΔSp – zvětšení plochy při rozvinutí povrchu 1m² [m²]



Graf 7.16 Zvětšení plochy při rozvinutí povrchu 1m²

Největší rozvinutá plocha byla zaznamenána u povrchu otryskaného měděnou struskou, i přesto, že tento povrch nedosahuje nejvyšší drsnosti. Tento povrch se vykazuje vysokou členitostí proto, je rozvinutí 1 m² plochy největší. Naopak nejnižší rozvinutí vykazuje plocha za studena válcovaného povrchu, toto zvětšení plochy při rozvinutí povrchu 1 m² je 5-ti násobně menší než u povrchu otryskaného měděnou struskou. Tato odlišnost je dána drsností a charakterem povrchu vyrobeného různými technologickými postupy.

7.5 STANOVENÍ PROFILU POVRCHU PÁSKOU METODOU REPLIKY DLE ČSN EN ISO 8503-5

Kotvící profil podkladového materiálu se stanoví pomocí analogového tloušťkoměru MITUTOYO – DIAL THICKNESS GAUGE s přesností měření 0,001mm a speciální testexové pásky Elcometer 122 Testexová páska X-Coarse – PRESS-O-FILM™. Rozsah použité pásky je 40 – 115 μm . Tloušťka pásky je 50 μm , tato tloušťka musí být odečtena od naměřené hodnoty, po té je výslednou hodnotou R_{max} [μm] – největší rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším místem povrchu, která by měla odpovídat hodnotě R_z .



.Obr. 7.3 Použité pomůcky

Tabulka 7.19 Kotvící profily

Číslo měření	Označení vzorků				
	G	S	V	B	T
1	80	60	-	-	60
2	84	59	-	-	65
3	79	54	-	-	62
4	85	61	-	-	65
5	81	56	-	-	61
$\bar{\Delta} R_{\text{max}}$ [μm]	81,8	58	-	-	62,6

Kotvící profily se téměř shodují s hodnotami R_z naměřené dotykovou metodou pomocí profilometru. U vzorků válcovaných za studena a broušených, nebylo možno tuto metodu použít, protože testexová páska je určena pro měření v rozsahu 40 – 115 μm a naměřené hodnoty R_z pomocí profilometru u těchto vzorků nepřesahují hodnotu 10 μm . Kotvící profily měřených povrchů G, S a V, jsou několika násobně vyšší než kotvící profily povrchu ocelového substrátu s označením V a B. Díky tomu by tyto povrchy mohly být vhodnějšími nositeli těchto tenkých povlaků.

7.6 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ VZORKŮ

Na vzorcích bylo měřeno povrchové napětí inkousty o hodnotách 36, 38, 41 mN/m. Hodnota 38 mN/m je brána za tzv. střed.

Tabulka 7.20 Hodnota povrchového napětí vzorků

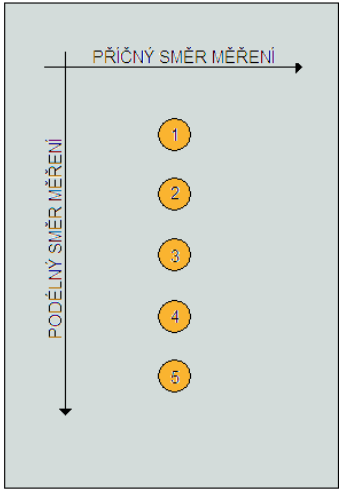
Typ vzorku	Vyhovující inkoust
G	41 mN/m
S	41 mN/m
V	41 mN/m
B	38 mN/m
T	36 mN/m

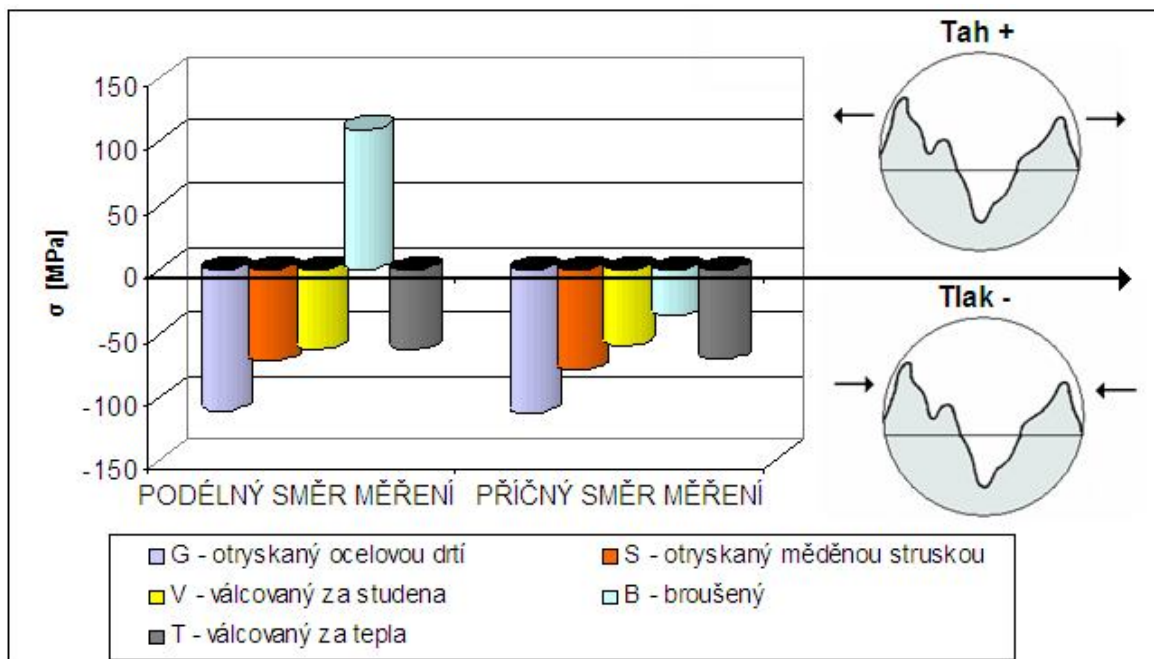
Téměř všechny povrchy vzorků vykazují vyšší povrchové napětí, což znamená, že smáčivost povrchu by neměla být ovlivněna mastnotou, nebo jinými nečistotami ulpělými na povrchu a tedy i přilnutí povlaku k povrchu by nemělo být ovlivněno těmito faktory. Jediný povrch vzorku označený písmenem T – válcovaná trubka za tepla, vykazuje nižší povrchové napětí, tedy povrch i po odmaštění není dokonale smáčivý a tedy i vlastnosti povlaku mohou být z tohoto důvodu horší.

7.7 MĚŘENÍ ZBYTKOVÉHO NAPĚTÍ

Zbytkové napětí bylo měřeno pouze na povrchu ocelového substrátu. Měření bylo provedeno v příčném a podélném směru v pěti bodech. V každém sejmutém bodě byla z několika naměřených hodnot zapsána průměrná hodnota a všech pět těchto hodnot bylo zprůměrováno. Průměrné hodnoty v obou směrech a schéma vzorku s vyznačenými body měření je uvedeno v tabulce níže.

Tabulka 7.21 Hodnoty zbytkového napětí na povrchu ocelových substrátů [21]

Vzorek	Napětí σ [MPa] Podélný směr	Napětí σ [MPa] Příčný směr	Schéma vzorku s body měření
G	- 110	- 112	
S	- 71	- 79	
V	- 62	- 59	
B	110	- 36	
T	- 62	- 70	



Graf. 7.17 Zbytkové napětí na povrchu vzorků

Zhodnocení

Všechny tyto ocelové substráty, kromě broušeného, vykazují na svém povrchu tlaková napětí. Laicky lze říci, že tlaková napětí jsou pro nátěrový systém příznivější než tahová. Takto orientovaná zbytková napětí by neměla mít teoreticky vliv na tvorbu trhlin doprovázené následným praskáním hotového nátěrového systému vedoucí k jeho předčasné degradaci vlivem rychlejšího korozního napadení ocelového substrátu, nemusí to však být pravidlem. Nejvyšších tlakových napětí dosahuje povrch otryskaný ocelovou drtí (G). Tahová zbytková napětí se vyskytují pouze na povrchu broušeném a to pouze v podélném směru, tedy ve směru broušení, v příčném směru se vyskytují napětí tlaková, ale v menších hodnotách než u předchozích povrchů. Vzorek označený jako T – za tepla válcovaná trubka, vykazuje v obou směrech tlaková napětí, ovšem skutečnost může být úplně jiná. Trubka, z které byl vzorek odebrán, může jako celek vykazovat spíše napětí tahová. Nelze jednoznačně říci, zda tato napětí různých velikostí a orientací budou negativně ovlivňovat suchou vrstvu nátěrového systému. Možnost šíření trhlin by se dalo očekávat u vzorku broušeného a to v podélném směru, nemusí to však mít na mechanismus trhlin žádný vliv. Existuje mnoho dalších faktorů, které mohou ovlivňovat šíření trhlin např. tloušťka povlaku, drsnost povrchu, vlastnosti nátěrového systému, atd.

7.8 APLIKACE NÁTĚROVÉ HMOTY

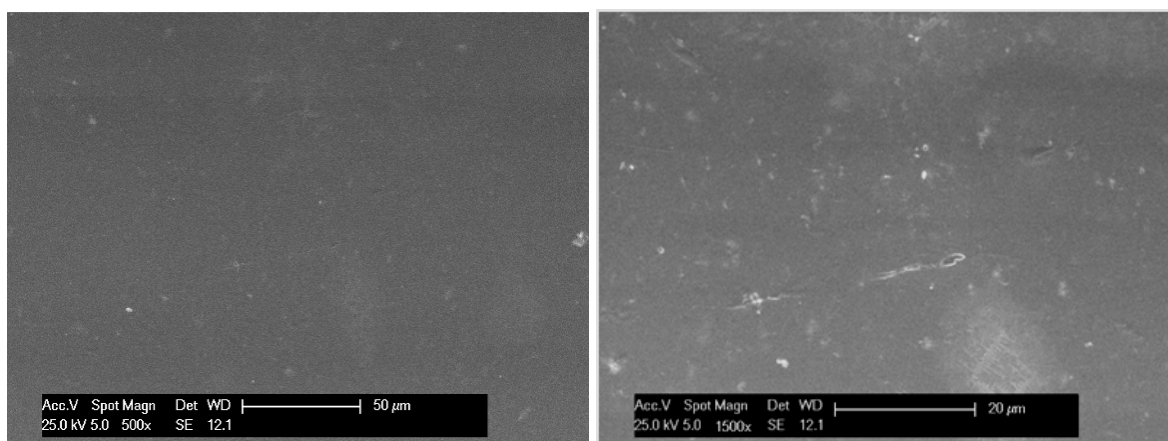
Nátěrová hmota byla aplikována pomocí štětce ve dvou vrstvách. První vrstva byla nanášena o tloušťce 50 μm . Nátěr zasychal po dobu cca 30 minut při teplotě okolí 23 °C volně na vzduchu, po té byl vytvrzován v sušičce po dobu 1 hodiny při teplotě 80 °C. Po

zchladnutí vzorků byla aplikována druhá vrstva nátěrové hmoty o tloušťce 50 μm . Nátěr opět zasychal volně na vzduchu po dobu cca 30 minut při teplotě okolí cca 23 $^{\circ}\text{C}$, po té byly vzorky vloženy do sušičky po dobu 6-ti hodin při 80 $^{\circ}\text{C}$. Po té byl transparentní nátěrový systém celkově vytvrzen. Tloušťka mokré vrstvy nátěrového systému byla kontrolována pomocí měřicího hřebenu ELCOMETER.

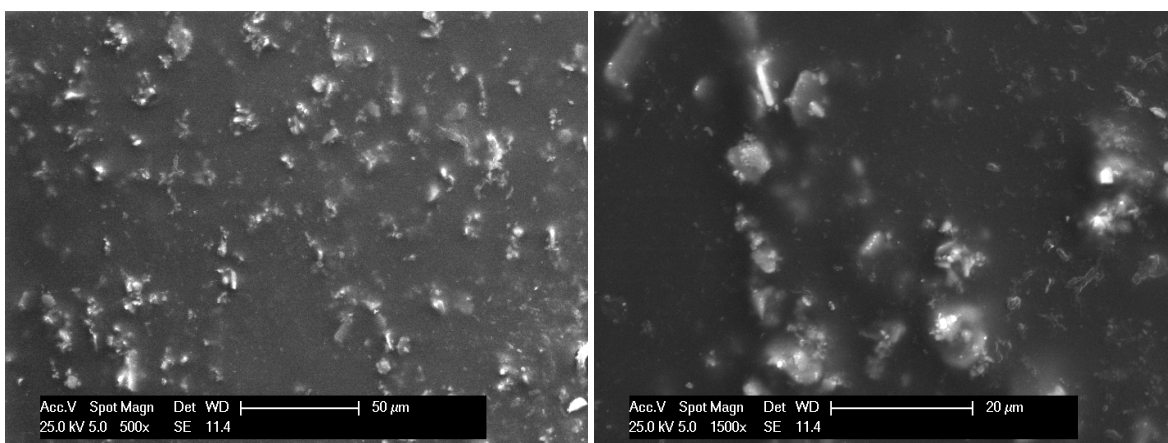
Po vytvrzení se transparentní nátěrový systém jevil souvisle bez vad a trhlin viditelných prostým okem, tedy zbytkové napětí vyskytující se na povrchu těchto vzorků by nemělo zapříčínovat u této tenkých povlaků vady typu trhlin. Z fotodokumentace je patrné, že u nátěrového systému s označením BM došlo k zakalení povlaku, což může být způsobeno přimícháním větší koncentrace částic ZP10 v mikrorozměrech. Fotodokumentace vzorků s vytvrzenou vrstvou nátěrového systému je uvedena v příloze č. 2.

7.8.1 Fotodokumentace nátěrového systému

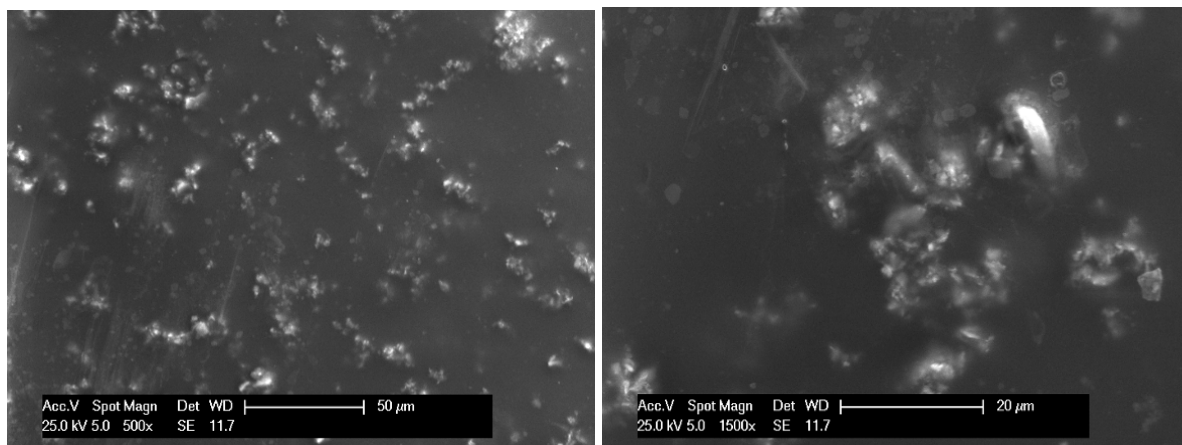
Fotodokumentace nátěrového systému byla provedena na Centru nanotechnologií, které sídlí na VŠB – TU v Ostravě. Povrch vzorků byl analyzován na skenovacím elektronovém mikroskopu (SEM) PHILIPS XL 30, mikroanalýzou pomocí rentgenového záření (EDAX).



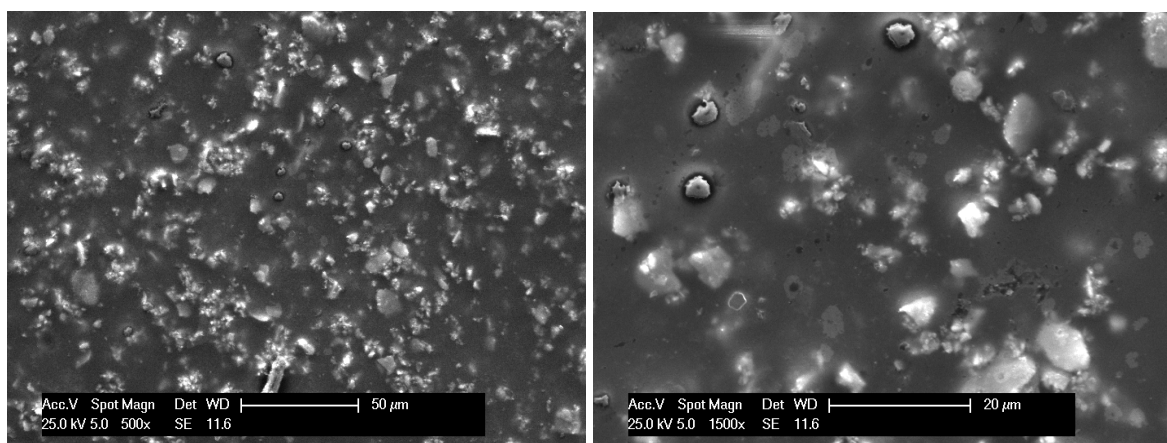
Obr. 7.4 Nátěrový systém AN plněný 0,1 – 2 % ZP10 zvětšení vlevo 500x, vpravo 1500x



Obr. 7.5 Nátěrový systém AM plněný 3 – 5 % ZP10 zvětšení vlevo 500x, vpravo 1500x



Obr. 7.6 Nátěrový systém BN plněný 12 – 14 % ZP10 zvětšení vlevo 500x, vpravo 1500x



Obr. 7.7 Nátěrový systém AN plněný 12 – 14 % ZP10 zvětšení vlevo 500x, vpravo 1500x

Z fotodokumentace je patrný rozdíl koncentrací při plnění nátěrového systému. Při vyšší koncentraci nanočástic ZP10 v nátěrovém systému, mají tyto částice tendence k tvorbě shluků, čím vyšší bude koncentrace těchto nanočástic v nátěru tím častější a větší shluky lze předpokládat. Částice ZP10 v mikrorozměrech se v nátěrovém systému vyskytují pravidelněji pouze ve vyšší koncentraci, při nižší koncentraci jsou rozmístěny nerovnoměrněji. I zde může za jistých okolností dojít k nepatrným shlukům, neboť dodaný pigment obsahuje i částice mnohem menších rozměrů než je uvedeno dodavatelem.

7.9 STANOVENÍ TLOUŠŤKY SUCHÉHO NÁTĚROVÉHO FILMU DLE ČSN EN ISO 2808

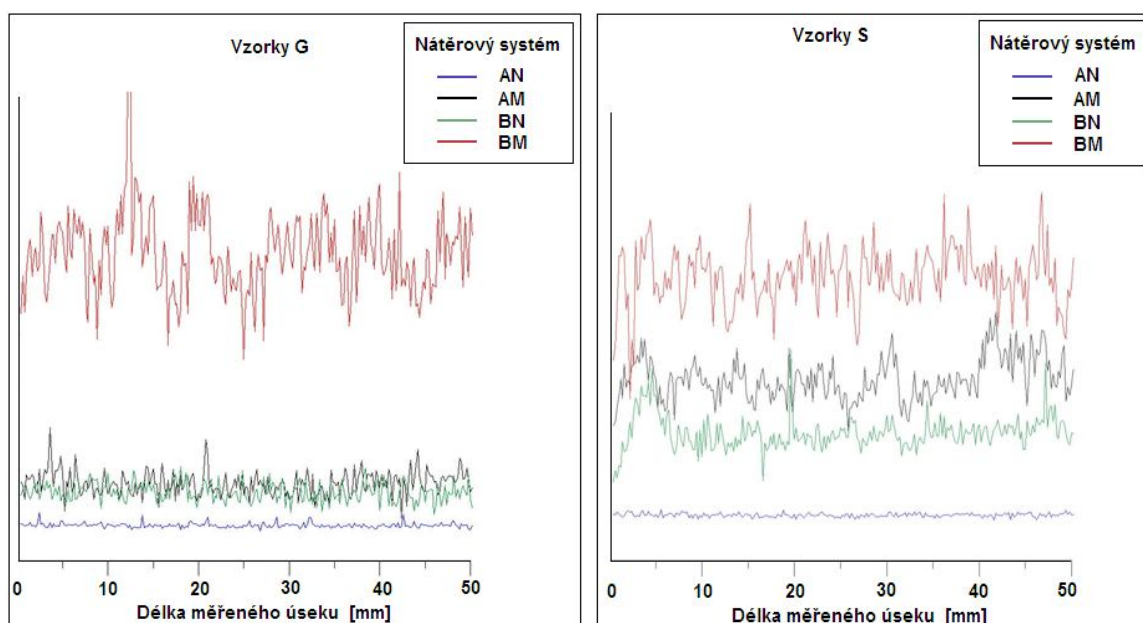
Tloušťka suchého nátěrového filmu byla stanovena nedestruktivní metodou. Měření bylo provedeno pomocí přístroje ELCOMETER 654, který je založen na elektromagnetické indukci. Hodnoty byly zprůměrovány a zapsány do tabulky. Tloušťky suché vrstvy nátěrového systému se pohybovaly v rozmezí 48 – 54 µm.

Tabulka 7.22 Průměrné tloušťky suchých vrstev jednotlivých nátěrů

Typ vzorku	Suchá vrstva [μm]	Typ vzorku	Suchá vrstva [μm]	Typ vzorku	Suchá vrstva [μm]	Typ vzorku	Suchá vrstva [μm]	Typ vzorku	Suchá vrstva [μm]
G AN	50,1	S AN	49,4	V AN	50,3	B AN	49,8	T AN	48,9
G AM	53,6	S AM	50,7	V AM	48,6	B AM	49,1	T AM	49,4
G BN	53,8	S BN	50,1	V BN	49,2	B BN	48,8	T BN	49,7
G BM	55,1	S BM	53,4	V BM	51,3	B BM	50,7	T BM	50,5

7.10 RENTGENOVÁ FLUORESCENČNÍ ANALÝZA

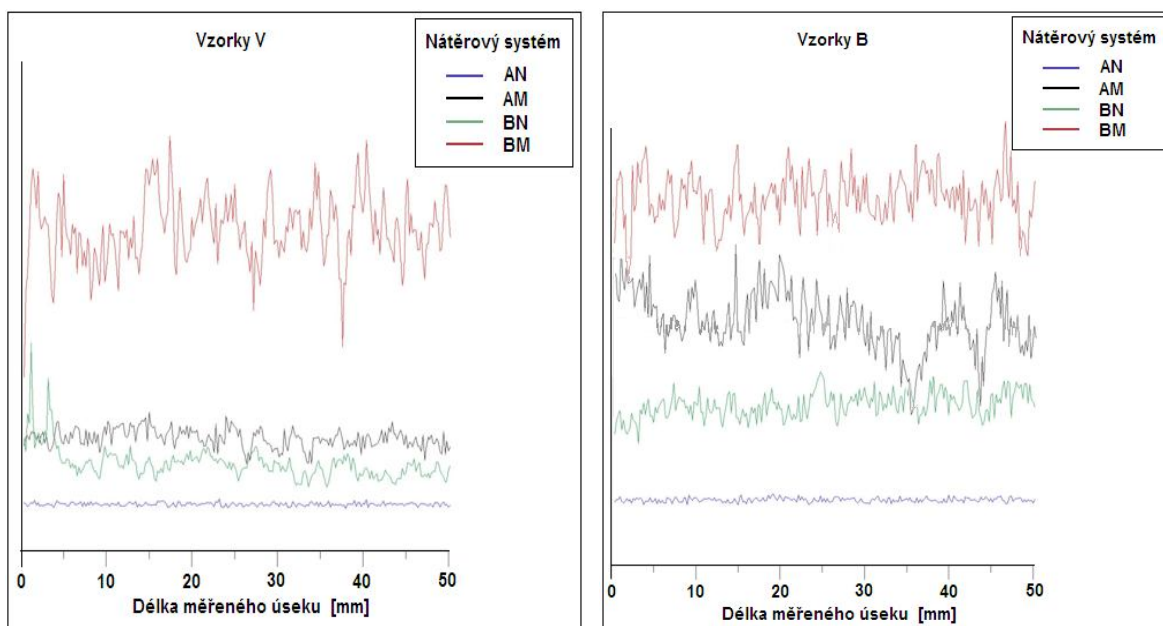
Rentgenová fluorescenční analýza byla provedena na Západočeské univerzitě v Plzni na Ústavu materiálových věd. Pro měření byl použit přístroj CMI 950. Analýza byla v tomto případě využita pro lokální měření rozdílů v tloušťce tenkých vrstev a pro zjištění jejího profilu přes část vzorku. Měření homogenity povrchové úpravy bylo měřeno s použitím kolimátoru průměru 0,1 mm. Měřená délka byla stanovena od okraje vzorku do jeho středu tedy 50 mm. Protože jsou nátěrové systémy plněné fosfátem zinku záznam ploch byl proveden vytyčeným pikem Zn ve změřeném spektru v každém místě a pikem Fe. Níže jsou uvedeny změny v píku Zn. [35]



Obr. 7.8 Profil tloušťky tenké vrstvy přes vzorky G a S s rozdílnými nátěrovými systémy [35]

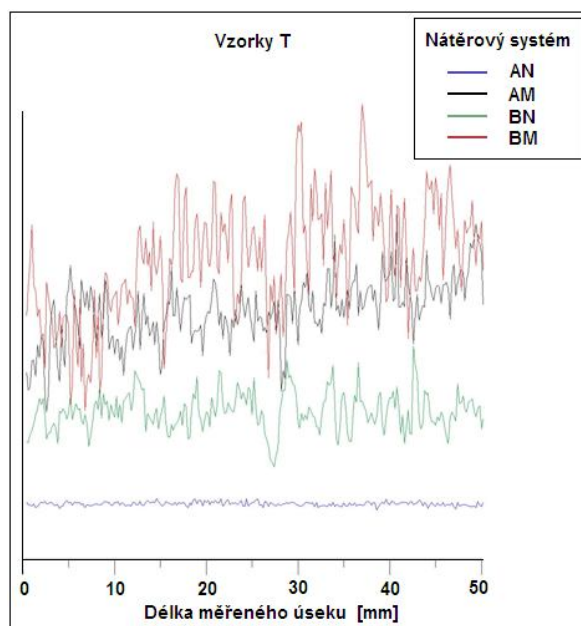
Nejstálenejší rozložení ZP10 v nátěrovém systému u obou typů vzorků (G) a (S) je vykazováno v případě malého množství nanočástic (AN). Rozložení v nátěru plněného malým množstvím částic v mikrorozměrech (AM) a větším množstvím v nanorozměrech (BN) je u nátěrových systémů aplikovaných na otryskaný povrch ocelovou drtí (G) téměř shodné. U vzorku otryskaného měděnou struskou (S) je průběh složitější tedy rozložení je nepravidelnějšího charakteru. Největší rozdíly jsou zachyceny na vrstvě povlaku v případě

velkého množství mikročástic (BM). Může to být dáno hromaděním částic v určitých místech povrchu při aplikaci nátěru vlivem drsnosti, tedy i kolísáním tloušťky nátěru vlivem drsnosti.



Obr. 7.9 Profil tloušťky tenké vrstvy přes vzorky V a B s rozdílnými nátěrovými systémy [35]

Z profilu může být patrné opět homogenní rozložení v případě malého množství nanočástic. Profily vrstev nátěrových systémů AM a BN aplikované na válcovaný povrch za studena (V) jsou obdobného charakteru jako u vzorků (G). U vrstev nátěrových systémů AM a BN aplikovaných na povrch broušený (B) jsou profily složitějších průběhů než u vzorků S AM a S BN. Rozložení částic na vzorku B AM je velmi nestabilní. Rozložení částic ZP10 v povlaku BM je totožné jako u výše uvedených vzorků.



Obr. 7.10 Profil tloušťky tenké vrstvy přes vzorky T s rozdílnými nátěrovými systémy [35]

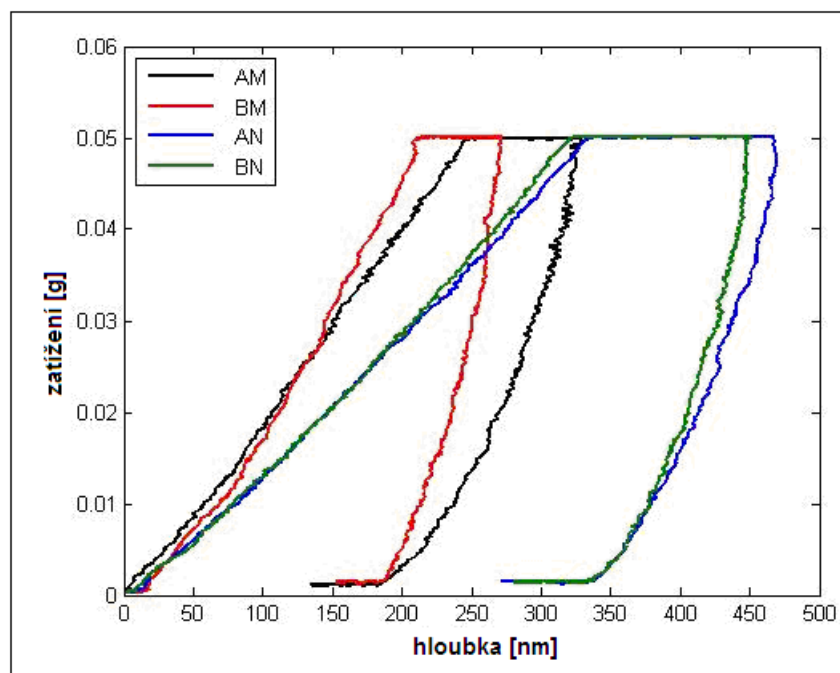
Na vzorcích s označením T je průběh profilů nejsložitější. Zde se opět jako homogenní jeví rozložení malého množství nanočástic v nátěrovém systému (AN). Ostatní profily jsou složitějšího charakteru, což může být do jisté míry ovlivněno tvarem vzorku.

Zhodnocení

Aplikace nátěrových systémů na jednotlivé vzorky probíhala v tomto pořadí: 1. vzorky otrýskané ocelovou drtí, 2. vzorky válcované za studena, 3. vzorky otrýskané měděnou struskou, 4. vzorky broušené a 5. za tepla válcovaná bezešvá trubka. Z toho lze říci, že důležitou roli při rozložení částic v nátěru hraje i časová prodleva mezi aplikacemi nátěrových systémů na jednotlivé typy povrchů. Tato časová prodleva nejméně ovlivňuje nátěrový systém plněný malým množstvím fosfátu zinku v nanorozměrech (AN), profily této vrstvy jsou nejstabilnější a u všech vzorků téměř totožné. Na měření zde může mít vliv i nízký obsah nanočástic a tím i méně výrazný pik Zn, ale i přesto se vrstva jeví nejstabilněji. Stejně tak tomu je i u nátěrového systému s větší koncentrací ZP10 v mikrorozměrech. Tyto vrstvy sice vykazují vysoké rozdíly v rozložení částic, ale tyto rozdíly jsou téměř totožné u všech typů vzorků. Nejvýraznější rozdíly v rozložení vykazuje vzorek T, to ale může být ovlivněno tvarem vzorku. Nejvýraznější rozdíly v profilech v závislosti na časové prodlevě vykazují nátěrové systémy AM a BN. Z výsledků je patrné, že čím větší je prodleva mezi aplikacemi těchto dvou nátěrových systémů, tím vyšší je rozdíl mezi rozložením částic v povlaku. U nátěrových systémů s malým množstvím ZP10 v mikrorozměru může být rozložení ovlivněno malým množstvím částic vmíchaných do nátěrového systému, nebo možné tendenci k tvorbě shluků s menšími částicemi, které jsou součástí tohoto pigmentu již před namletím. U nátěrových systémů s větším množstvím nanočástic ZP10 spíše dochází k tvorbě shluků, které mohou být s časovou prodlevou intenzivnější. Ovšem i charakter a drsnost povrchu a s tím spojené možné kolísání tloušťky suché vrstvy nátěru může mít vliv na rozložení těchto částic.

7.11 NANOINDENTAČNÍ ZKOUŠKY

Nanoindentační zkoušky byly provedeny na Západočeské univerzitě v Plzni na Ústavu materiálových věd. Nanoindentační měření bylo provedeno na přístroji Shimadzu DUH 202. Měření byla nejdříve provedena zkušebně při různých maximálních normálových zatíženích pro zjištění optimálních rozsahů měření. Pro měření byl nastaven mód 2, který umožňuje měření závislosti hloubky proniknutí indentoru do materiálu na aktuální působící normálové síle a to v průběhu celého zatěžovacího a odlehčovacího cyklu tedy v průběhu zatěžování, v časové prodlevě při maximálním zatížení a v průběhu odlehčování. Pro měření módem 2 se ukázalo nejoptimálnější maximální zatížení 0.05 g vzhledem k maximální hloubce proniknutí do povrchové úpravy v poměru k tloušťce vrstvy. [35]



Graf 7.18 Grafický záznam nanoindentačních křivek při maximálním zatížení 0,05 g [35]

Tabulka 7.23 Parametry získané pomocí nanoindentační zkoušky

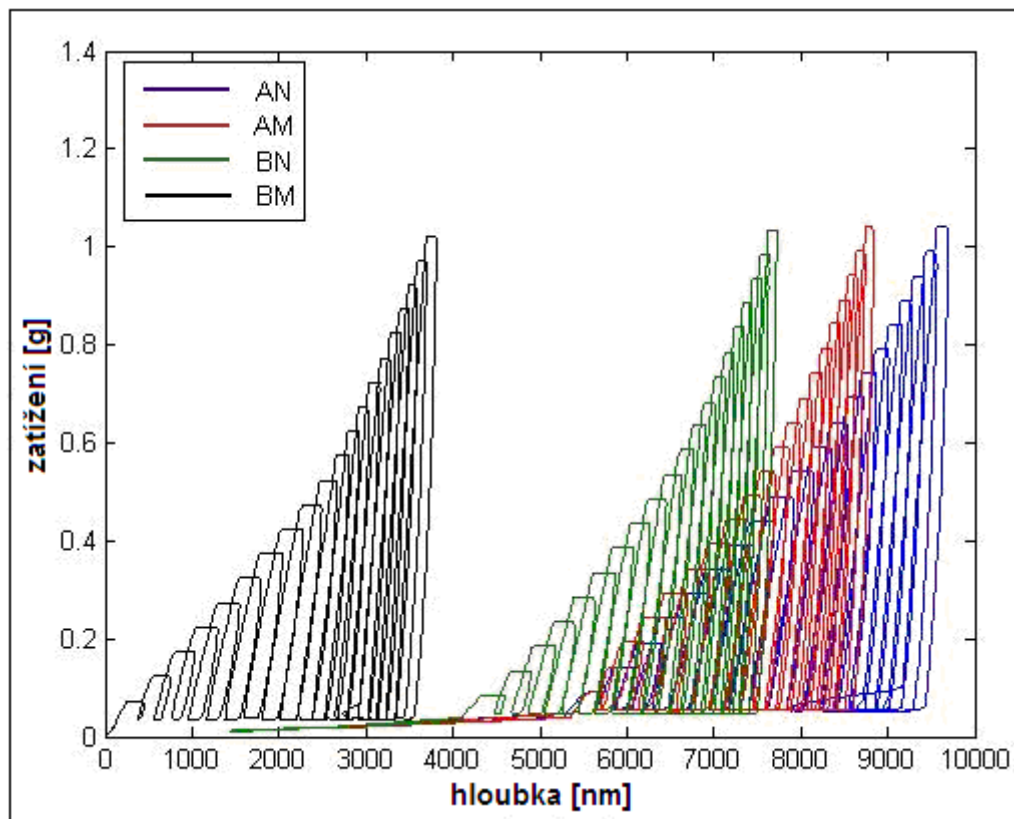
	AN	AM	BN	BM
Nanotvrdost	8,6 DHV	17,4 DHV	9,4 DHV	25,8 DHV
Dosažená hloubka [nm]	470	325	450	275
Elastická/Plastická deformace [%]	43/57	40/60	35/65	26/74

Z měření je patrné, že velikost a koncentrace pigmentu v nátěrovém systému ovlivňuje jeho elastické a viskózní vlastnosti. Nátěrový systém s obsahem částic 12 – 14 % fosfátu zinku v mikrorozměru (BM) kladl větší odpor při vnikání indentačního tělíska, vykazuje tedy největší zpevnění povrchu, podobné charakteristiky vykazoval i nátěrový systém s obsahem částic 3 – 5 % fosfátu zinku v mikrorozměru (AM), ovšem velikost jeho plastické deformace byla nižší. Nátěrové systémy plněné nanočásticemi (AN, BN) vykazovaly nižší zpevnění povrchu s výraznější elastickou deformací. Také dosažená hloubka byla u nátěrových systémů plněných částicemi v nanorozměrech vyšší.

7.11.1 Cyklická nanoindentace

Další měření byla provedena módem 7, který umožňuje záznam cyklických indentačních křivek s postupným krokovým růstem maximálního normálového zatížení do předem nastavené maximální hodnoty maximálního zatížení. V každém cyklu dochází k zatížení, prodlevě a odlehčení na přednastavenou minimální sílu. Na základě předběžných experimentů byla stanovena hodnota maximálního zatížení na 1 g. Při tomto měření jsou

získávány informace z různých hloubek materiálových systémů. V příloze č. 3 jsou uvedena jednotlivá měření na jednotlivých nátěrových systémech AN, AM, BN, BM pro maximální zatížení 1 g se stejným rozsahem hloubky proniknutí indentoru pro lepší možnost porovnání indentačních křivek pro jednotlivé vzorky mezi sebou. Níže je uveden souhrn indentačních křivek pro lepší možnost srovnání. [35]



Graf 7.19 Souhrn indentačních křivek s maximálním zatížením 1 g [35]

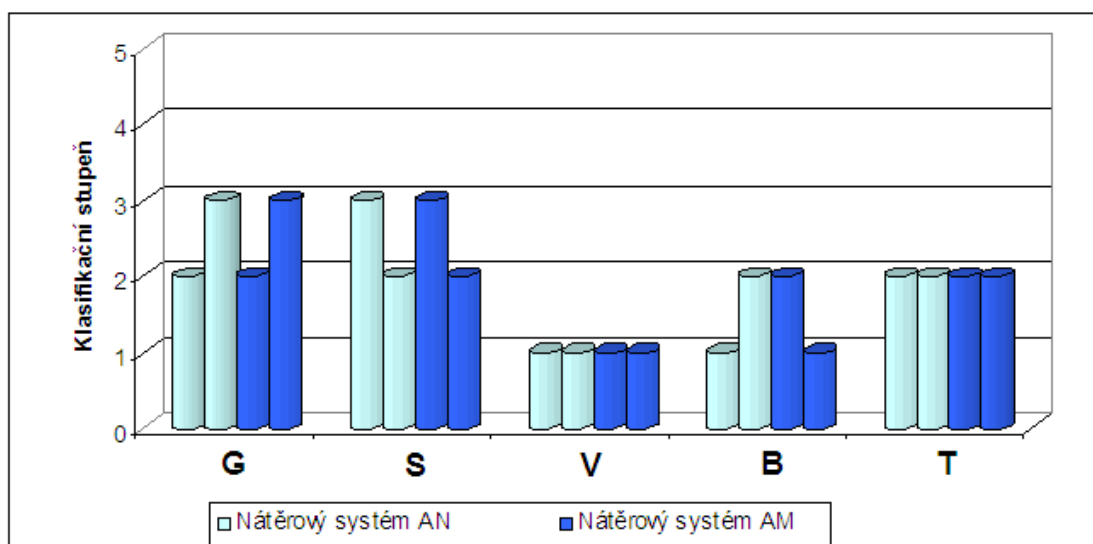
Ze souhrnu indentačních cyklických křivek je patrný rozdíl mezi vzorky zejména v maximální hloubce proniknutí indentoru. Nejvyšší hloubku proniknutí vykazuje nátěrový systém AN. Nátěrové systémy BN a AM jsou srovnatelné, vzorek BM vykazuje nejnižší hloubku proniknutí indentoru. To může poukazovat na to, že mikronové částice rozmístěné v nátěrovém systému jej více zpevňují. Rostoucí podíl nano částic přináší podobný efekt. Nejvyšší zpevnění je patrné na systému s velkým množstvím mikročástic. Další patrný rozdíl je ve sklonu cyklických indentačních křivek. Největší sklon ukazuje nátěrový systém BM, což ukazuje na zpevňování při hlubším pronikání do systému. Srovnatelné jsou opět vrstvy nátěrových systémů AM a BN. Větší odpor proti pronikání indentoru je také patrný ze zhušťování indentačních křivek směrem do hloubky materiálových systémů, což může být dáno zmenšováním vzdálenosti částic od sebe a výraznějším projevem zpevnění po zatížení. Opět nejvýraznější zpevnění je na povrchu nátěrového systému BM, srovnatelné na vzorcích BN a AM a zpevňování není výrazněji patrné na vzorku AN.

7.12 MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI DLE ČSN EN ISO 16276-2

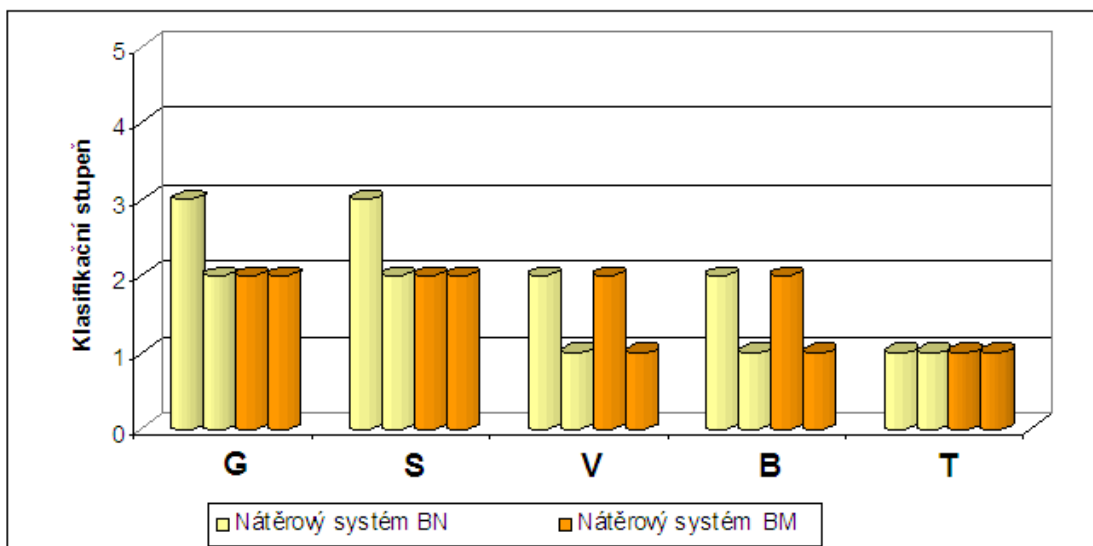
Na vzorcích byla provedena mřížková zkouška přilnavosti, protože se tloušťka suché vrstvy nátěrového systému pohybovala v průměru kolem 50 μm byly dle normy zvoleny rozestupy mezi jednotlivými řezy 1 mm. Řezů bylo provedeno 6 v podélném a příčném směru, tak aby vytvořili mřížku. Po té byla na povrch přilepena speciální adhezční páska o šířce 50 mm. Páska byla sejmuta pod úhlem 120° a po té byla mřížková zkouška vyhodnocena dle obrazových standardů. Výsledky jsou zapsány v tabulce.

Tabulka 7.24 Klasifikace mřížkové zkoušky

Typ vzorku	Klas.	Typ vzorku	Klas.	Typ vzorku	Klas.	Typ vzorku	Klas.	Typ vzorku	Klas.
G AN	2	S AN	3	V AN	1	B AN	1	T AN	2
	3		2		1		2		2
G AM	2	S AM	3	V AM	1	B AM	2	T AM	2
	3		2		1		1		2
G BN	3	S BN	3	V BN	2	B BN	2	T BN	1
	2		2		1		1		1
G BM	2	S BM	2	V BM	2	B BM	2	T BM	1
	2		2		1		1		1



Graf 7.20 Srovnání mřížkových zkoušek nátěrových systémů AN a AM



Graf 7.21 Srovnání mřížkových zkoušek nátěrových systémů BN a BM

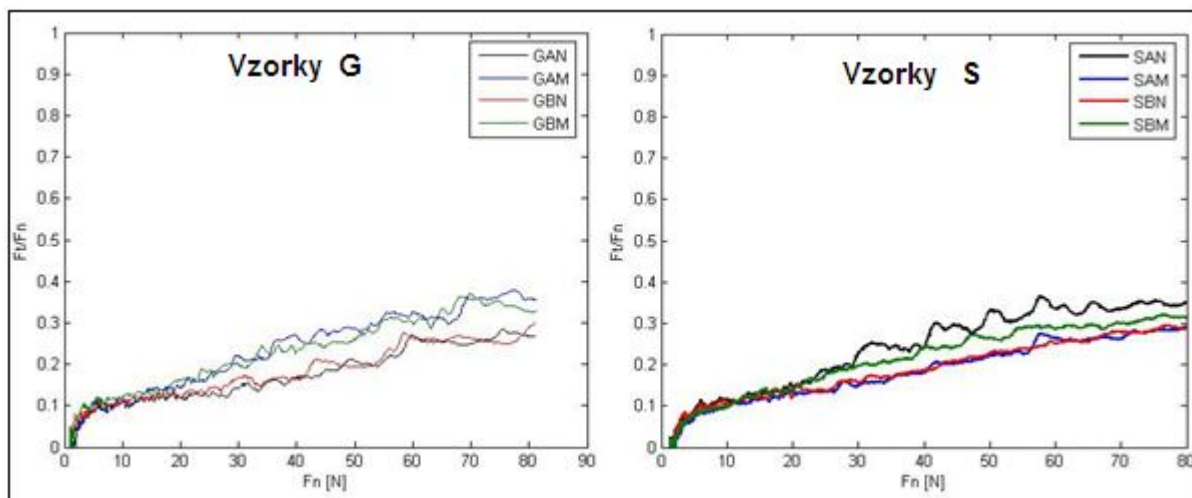
Zhodnocení

Z výsledků je patrné, že způsob mechanické úpravy a výsledný charakter povrchu ocelového substrátu může ovlivňovat přilnavost tenké vrstvy nátěrového systému. Vzorky otryskané ocelovou drtí (G) a měděnou struskou (S) vykazovaly stupně přilnavosti od 2 – 3, což je v průměru o 1 stupeň horší přilnavost, než u vzorků válcovaných za studena (V), broušených (B) a za tepla válcované trubky (T). Dalo by se říci, že tyto dva typy ocelových substrátů jsou méně vhodnými nositeli těchto tenkých povlaků. Dále bych chtěla poukázat na to, že vhodnost kotvícího profilu nelze hodnotit pouze podle parametru Ra a Rz. Vzorky G a T dosahují stejné drsnosti Ra a vzorky T ve srovnání se vzorkem S vykazují stejný parametr Rz, ale i přesto je přilnavost tenkého povlaku lepší na za tepla válcované bezešvé trubce než u těchto dvou vzorků otryskaných různými druhy médií. Závěrem lze říci, že o přilnavosti zde nerozhoduje jen parametr drsnosti Ra a maximální výška profilu Rz, ale i charakter povrchu, který definují ostatní parametry drsnosti profilu např. Rku, Rsk, RPc, Rmr, atd.

7.13 VRYPOVÁ INDENTACE

Vrypová indentace byla provedena na Západočeské univerzitě v Plzni na Ústavu materiálových věd na přístroji scratch tester CSEM REVETEST. Pro měření byl použit diamantový indentor Rockwellova typu s poloměrem zakřivení špičky indentoru 0.2 mm. Měření bylo provedeno v modu proměnné normálové síly s konstantní rychlostí rostoucí její hodnotou a s konstantní rychlostí se pohybujícím vzorkem pod indentorem z průběhu měření. Při měření byl zaznamenán průběh koeficientu tření v závislosti na působící normálové síle. Měření bylo provedeno v rozsahu normálové síly od 0 N do 80 N. Po provedení vrypové indentace byla zdokumentována morfologie porušení přes systém obrazové analýzy přes metalografický mikroskop Nikon řady Eclipse se zvýrazněním

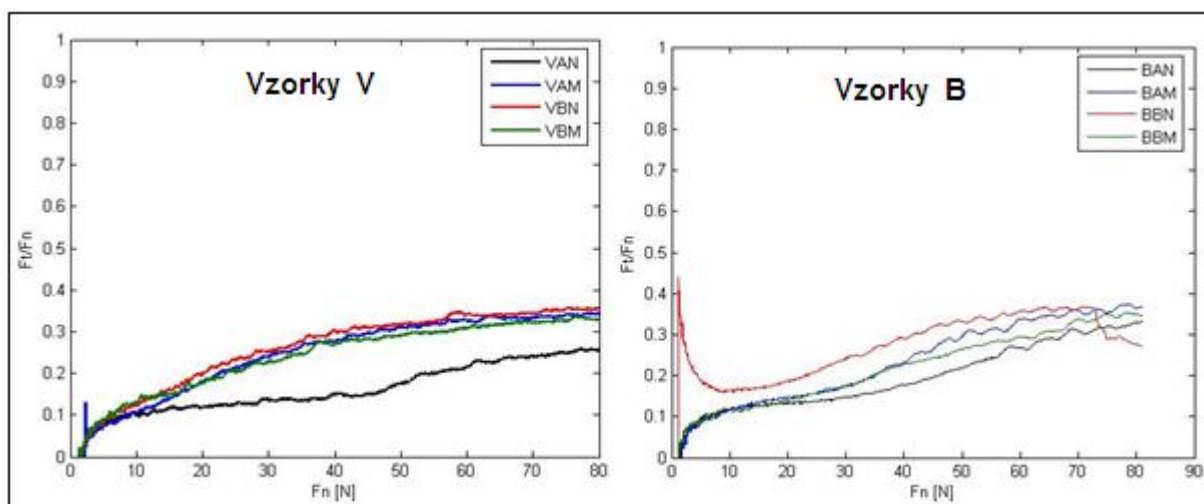
porušení jednak ve světlém poli pomocí polarizace a Nomarského diferenciálního kontrastu a jednak s použitím tmavého pole. Fotodokumentace jednotlivých vrypů je v příloze č. 4. [35]



Graf. 7.22 Závislost koeficientu tření na působící normálové síle [35]

Rozdíl v koeficientu tření pro nátěrové hmoty aplikované na povrch ocelového substrátu otryskaného ocelovou drtí (G) ukazuje na srovnatelnost vzorků G AN a G BN a podobně s vyšší hodnotou koeficientu tření vzorků G AM a G BM. Rozdíl ve velikostech koeficientů tření může být dán zpevněním povrchu povlaku díky přítomnosti mikro či nanočástic.

Průběh koeficientu tření na vzorku S AN ukazuje na postupné trhání povrchových vrstev v souladu s morfologií porušení. Vzorky S AM a S BN ukazují podobnost vlivem též podobného porušování patrného z morfologie vrypů. Vznik koeficientu tření na vzorku S BM v porovnání s vzorky S AM a S BN může být dán větším podílem mikročástic, neboť šířka vrypu je naopak menší a porušení je na tomto vzorku nízké.

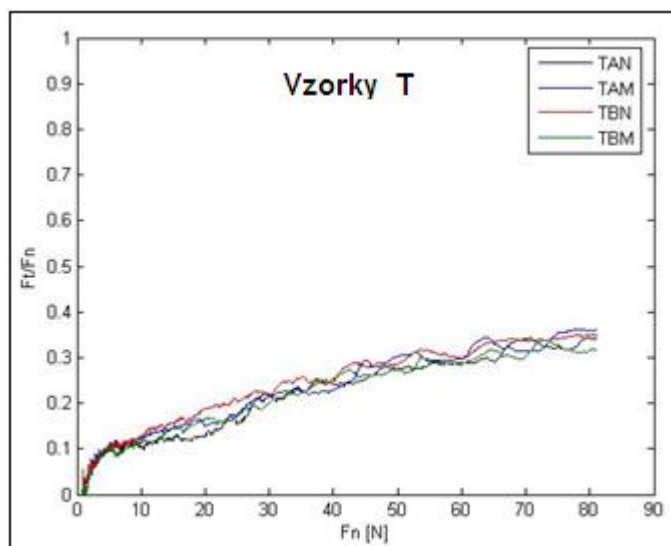


Graf. 7.23 Závislost koeficientu tření na působící normálové síle [35]

Na vzorcích válcovaných za studena (V) se průběh koeficientu tření nevykazuje výraznějšími rozdíly. Vzorek V AN vzhledem k malému množství nanočástic a hladšímu porušování vykazuje nejnižší koeficient tření. Rozdíly v případě vzorků V AM, V BN a V BM

ukazují na rozdílné zpevnění povrchu a tudíž pronikání indentoru do různých hloubek povrchových vrstev, čímž se mění plocha styku indentoru s povrchem.

Průběh koeficientu tření u vzorků broušených (B) s povlaky AM a BN je zvlněný a tím odráží odtrhávání povrchové vrstvy jak je patrné z morfologie porušení. Nejzvláštnější je průběh koeficientu tření na vzorku B BM, jeho vyšší hodnota tření je opět dána plněním povlaku vysokým obsahem mikročástic ZP10.



Graf. 7.24 Závislost koeficientu tření na působící normálové síle [35]

U nátěrů aplikovaných na trubky byl průběh koeficientu tření srovnatelný na všech vzorcích. Zvlněný průběh odráží zvlnění na okraji vrypu. Pozvolnější je průběh na vzorku T AM proti vzorku T BN, u vzorku T AN jde o porušení na okraji i uvnitř vrypu. Nejmenší zvlnění je patrné na vzorku T BM vlivem většího zpevnění a menším pronikáním indentoru do hloubky, což je dáno vyšším obsahem mikročástic v nátěrové hmotě.

Zhodnocení

Z morfologie porušení vrypovou indentací je patrné, že k nejrychlejšímu a nejvýraznějšímu porušení dochází u vzorků s nátěrovým systémem obsahujícím 0,1 – 2 % ZP10 v nanorozměrech (AN). Tento nátěrový systém se vykazuje jako nejméně zpevněný a tedy i vysokou nepravidelností na okraji vrypu. Tato nepravidelnost ve tvaru vln je způsobena uvolňováním pnutí generovaného pohybem indentoru po povrchu nátěrového systému. Nejvýraznější porušení již od malých normálových sil je patrné na vzorku broušeném (B AN). Zde dochází k silnému porušení zejména na okraji vrypu. Při vyšších normálových silách dochází k odtrhávání povrchové vrstvy na okraji vrypu, protože vrstva nátěru nedokáže odolat pnutí vnesenému pohybem indentoru. Morfologie porušení vrypovou indentací na vzorcích s povlaky plněnými 3 – 5 % ZP10 v mikorozměrech (AM) a 12 – 14 % ZP10 v nanorozměrech (BN) se od sebe nepatrně liší. Na větší zpevnění povrchu nátěrového systému má vliv už malé množství mikročástic (AM) o tom svědčí i fakt,

že k výraznějšímu porušení dochází později než na vzorku s nátěrovým systémem BN. Okraj vrypu je při nižších normálových silách pravidelnější. Pro vzorky s povrchem broušeným vychází lépe v odolnosti proti vrypové indentaci vzorek s nátěrovým systémem BN než vzorek s nátěrovým systémem AM. Nátěrový systém s 12 – 14 % ZP10 v mikrorozměrech (BM) vykazuje největší zpevnění povrchu a tedy je i nejvíce odolný vůči vrypové indentaci. K porušení na dně vrypu dochází později a okraj vrypu je spíše pravidelnější. Lze tedy říci, že větší koncentrace fosfátu zinku v mikrorozměrech zpevňuje povrch nátěrového systému a může ovlivnit i přilnavost nátěrového systému.

7.14 ZKOUŠKA SOLNOU MLHOU ČSN EN ISO 9227

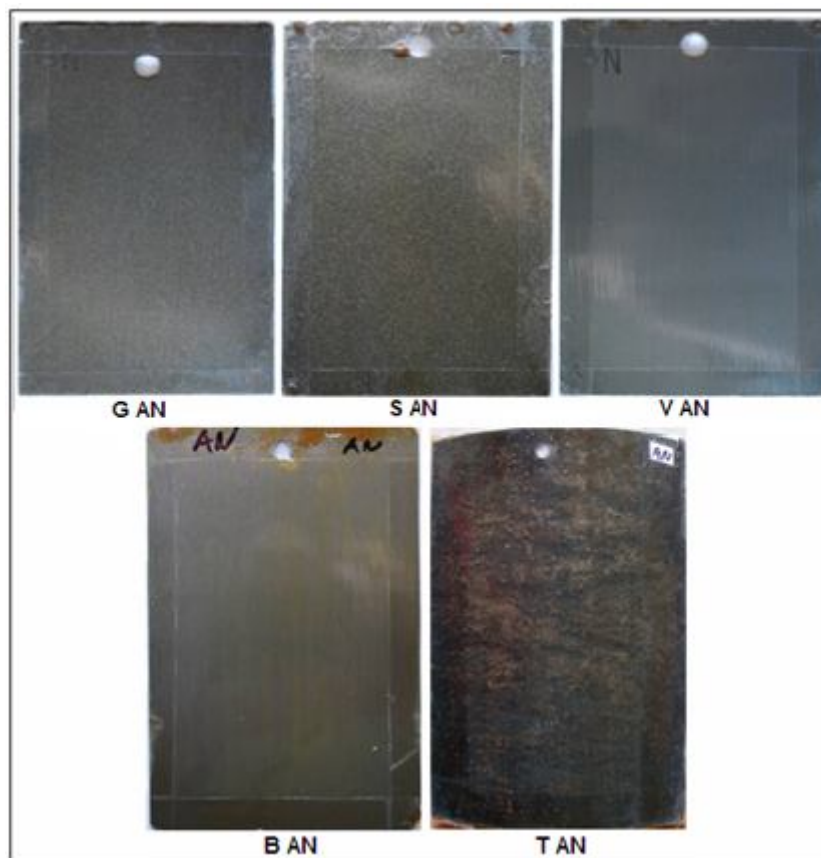
Zkouška solnou mlhou byla provedena na VŠB – TU Ostrava, vzorky byly umístěny v korozní komoře. Korozní ochrana pomocí tohoto transparentního nátěrového systému je vyžadována pouze pro expedici a převoz výrobků, tedy pro krátkodobou korozní ochranu což je asi cca 6 měsíců. V korozní komoře byly exponovány vzorky bez poškození a vzorky jejichž povlak byl poškozen řezem o délce 70 mm. Expozice v solné mlze byla stanovena pro krátkodobou korozní ochranu tedy 48 h což odpovídá dle níže uvedené tabulky cca 8 měsícům při zpřísněných podmínkách. Vzorky byly hodnoceny a dokumentovány v cyklech 8, 24, 48 h pro krátkodobou korozní odolnost. Dále sledování pokračovalo po násobcích 120-ti hodin až po dobu 720 h. Zcela degradované vzorky byly z cyklů postupně vyřazovány. Za degradaci nebudu považovat výskyt reziduí v ražbě.

Tabulka 7.25 Orientační návrh výpočtu doby korozní odolnosti v prostředí se stupněm korozní agresivity C5 Korozní odolnost [25]

Korozní odolnost	
Simulovaná doba v korozní komoře	Realita - skutečnost
720 h	cca 10 let
72 h	cca 1 rok
6 h	cca 1 měsíc

V tomto návrhu výpočtu je předpokládána korozní odolnost maximálně 10 let v prostředí C5, kde tato doba odpovídá 720 hodinám expozice povlaku v korozní komoře s prostředím solné mlhy. [25] Níže je uvedena fotodokumentace vzorků při první změně v korozní komoře tedy po 48 hodinách expozice v korozní komoře. Po té byla prováděna fotodokumentace po 120, 240, 360, 480 a 720 h. Fotodokumentace vzorků s řezy jsou uvedeny v příloze č. 5. Všechny tyto expozice byly vyhodnoceny dle normy ČSN EN ISO 4628. Tabulky s hodnocením jsou uvedeny ke každému zdokumentovanému cyklu.

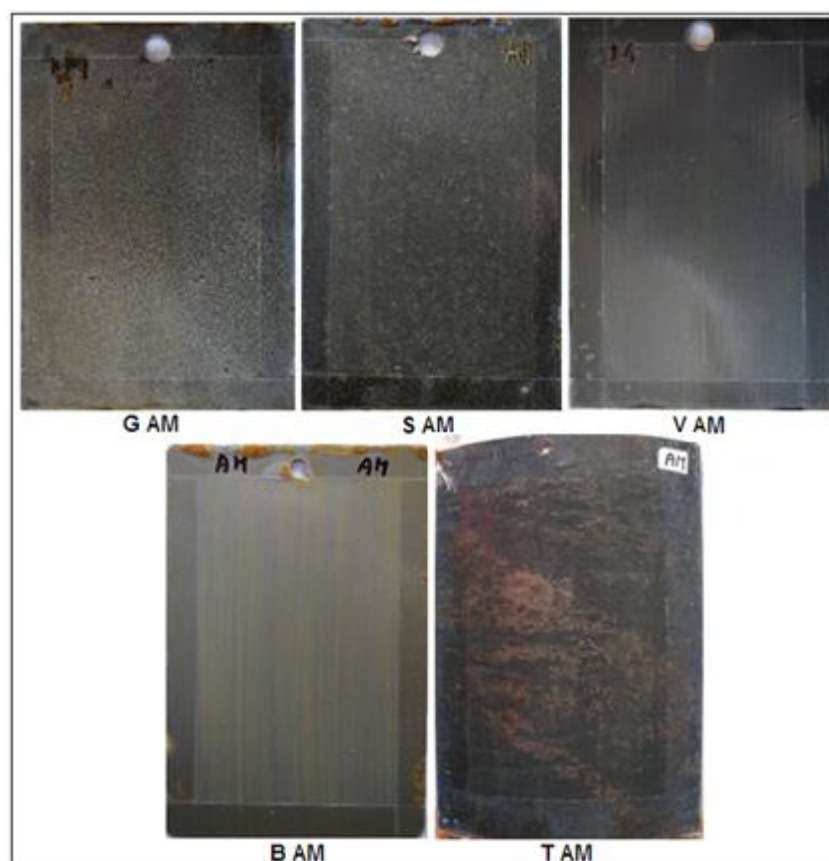
7.14.1 Fotodokumentace vzorků po 48 h expozice v korozní komoře



Obr. 7.11 Vzorky s povlakem AN po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.26 Vyhodnocení degradace po 48 hodinách expozice

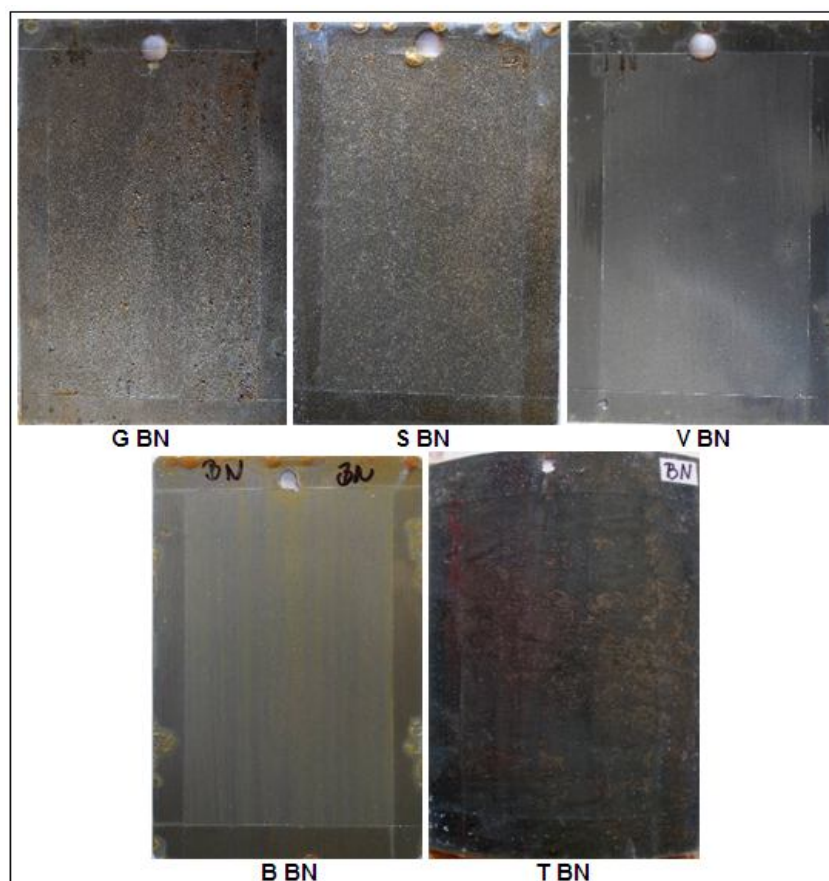
Doba expozice 48 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
G AN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
G AN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1
S AN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
S AN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1
V AN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
V AN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1
B AN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
B AN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1
T AN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
T AN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1



Obr. 7.12 Vzorky s povlakem AM po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.27 Vyhodnocení degradace po 48 hodinách expozice

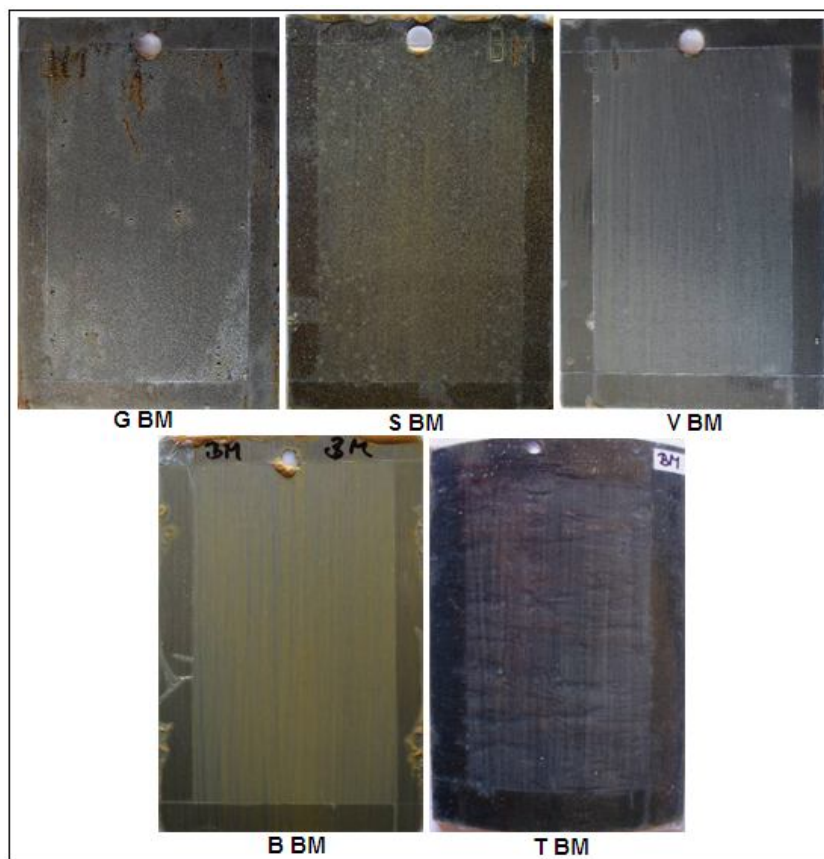
Doba expozice 48 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Stupeň koroze/delaminace
G AM	2 (S4)	Ri 0 (S0)	-
G AM řez	2 (S4)	Ri 0 (S0)	2/1
S AM	4 (S2)	Ri 0 (S0)	-
S AM řez	3 (S2)	Ri 0 (S0)	2/1
V AM	1 (S4)	Ri 0 (S0)	-
V AM řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	2/2
B AM	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
B AM řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1
T AM	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
T AM řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	2/1



Obr. 7.13 Vzorky s povlakem BN po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.28 Vyhodnocení degradace po 48 hodinách expozice

Doba expozice 48 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Stupeň koroze/delaminace
G BN	3 (S4)	Ri 1 (S3)	-
G BN řez	2 (S4)	Ri 1 (S3)	1/1
S BN	2 (S2)	Ri 0 (S0)	-
S BN řez	3 (S2)	Ri 0 (S0)	2/1
V BN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
V BN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	2/1
B BN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
B BN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1
T BN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
T BN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1



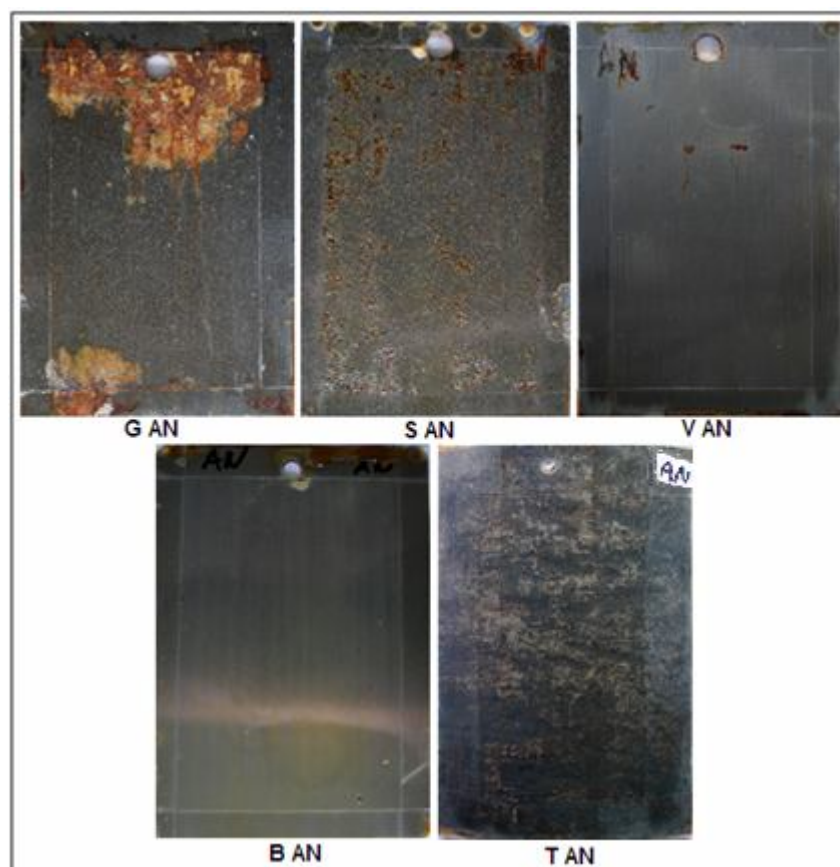
Obr. 7.14 Vzorky s povlakem BM po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.29 Vyhodnocení degradace po 48 hodinách expozice

Doba expozice 48 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorozavění	Stupeň koroze/delaminace
G BM	2 (S2)	Ri 2 (S4)	-
G BM řez	2 (S4)	Ri 2 (S4)	2/1
S BM	2 (S2)	Ri 0 (S0)	-
S BM řez	4 (S2)	Ri 2 (S2)	1/1
V BM	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
V BM řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1
B BM	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
B BM řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/2
T BM	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
T BM řez	3 (S4)	Ri 0 (S0)	2/2

Po 48 hodinách (8 měsíců) expozice v korozní komoře jsou vzorky opatřené nátěrovým systémem AN bez vady. U ostatních nátěrových systémů aplikovaných na vzorky G a S dochází k puchýřkování. Další porušení je patrné z některých řezů. Vzorky V, B a T opatřené těmito nátěry jsou také v dobrém stavu.

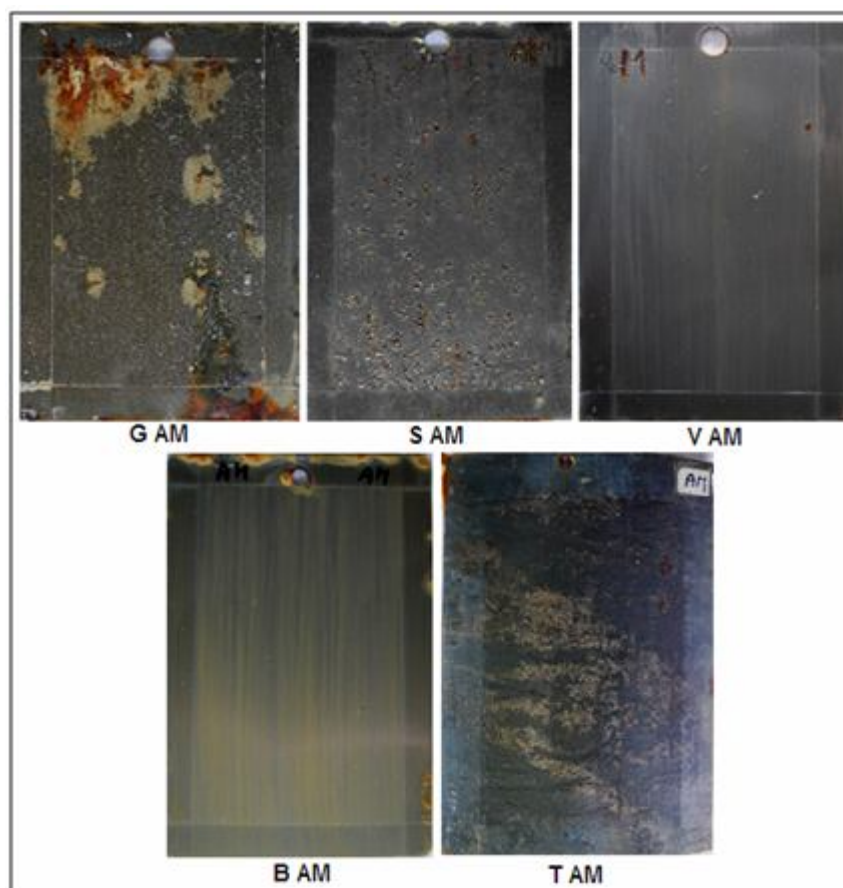
7.14.2 Fotodokumentace vzorků po 120 h expozice v korozní komoře



Obr. 7.15 Vzorky s povlakem AN po 120 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.30 Vyhodnocení degradace po 120 hodinách expozice

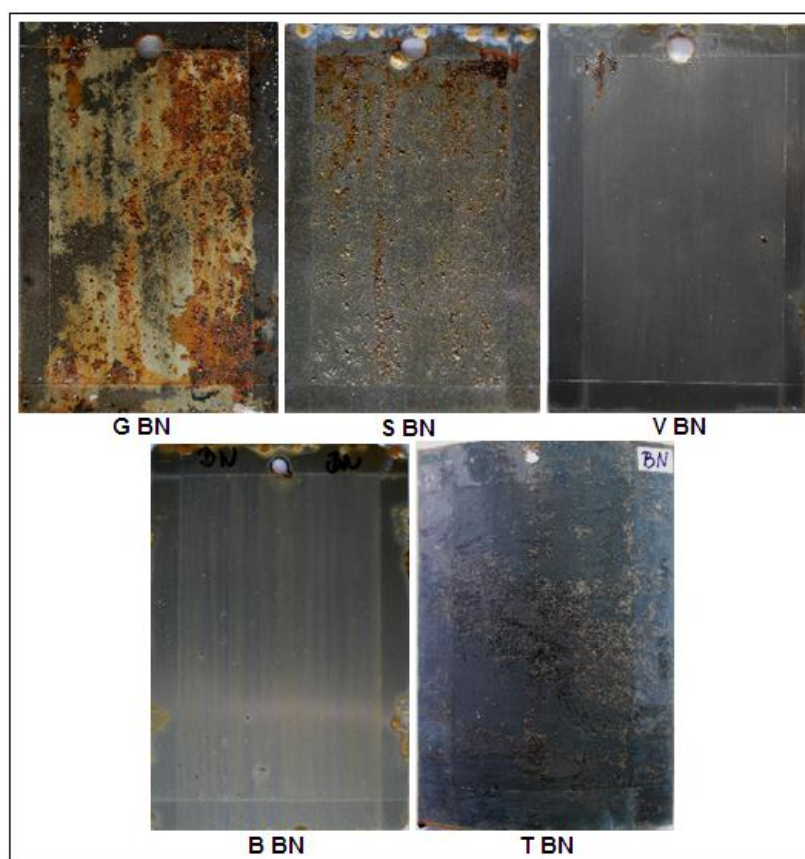
Doba expozice 120 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
G AN	0 (S0)	Ri 4 (S5)	-
G AN řez	0 (S0)	Ri 4 (S5)	5/5
S AN	2 (S2)	Ri 3 (S4)	-
S AN řez	2 (S2)	Ri 3 (S4)	3/1
V AN	2 (S4)	Ri 0 (S0)	-
V AN řez	1 (S3)	Ri 0 (S0)	1/1
B AN	1 (S4)	Ri 0 (S0)	-
B AN řez	1 (S4)	Ri 0 (S0)	2/1
T AN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
T AN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1



Obr. 7.16 Vzorky s povlakem AM po 120 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.31 Vyhodnocení degradace po 120 hodinách expozice

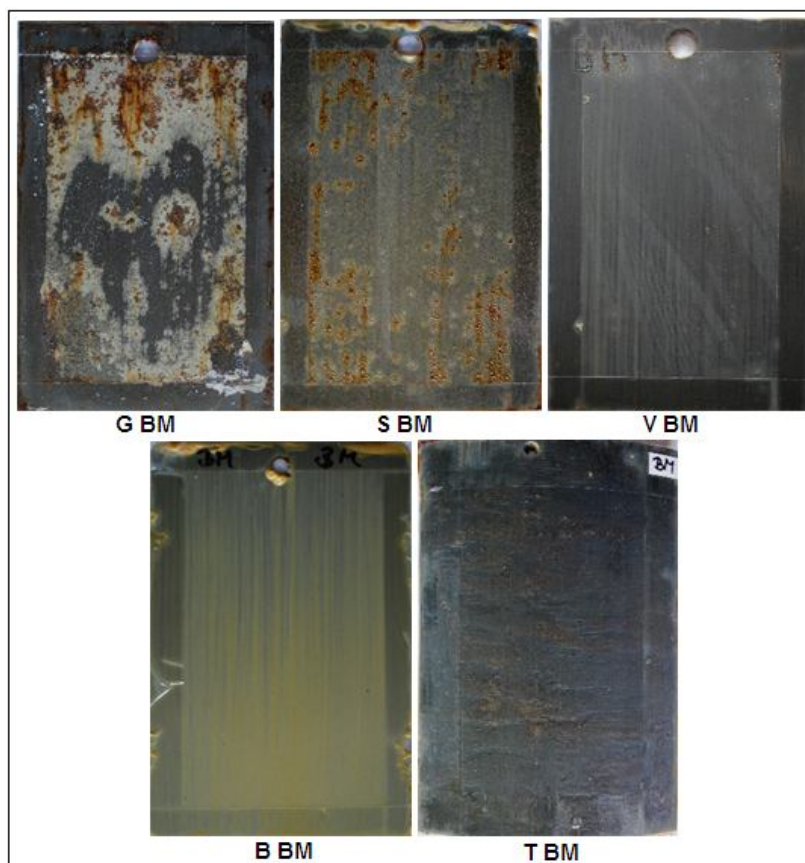
Doba expozice 120 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Stupeň koroze/delaminace
G AM	2 (S4)	Ri 4 (S5)	-
G AM řez	0 (S0)	Ri 4 (S5)	5/5
S AM	4 (S2)	Ri 2 (S3)	-
S AM řez	3 (S2)	Ri 2 (S4)	3/1
V AM	1 (S4)	Ri 0 (S0)	-
V AM řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	2/2
B AM	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
B AM řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	3/1
T AM	1 (S4)	Ri 0 (S0)	-
T AM řez	2 (S3)	Ri 0 (S0)	3/1



Obr. 7.17 Vzorky s povlakem BN po 120 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.32 Vyhodnocení degradace po 120 hodinách expozice

Doba expozice 120 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Stupeň koroze/delaminace
G BN	4 (S5)	Ri 4 (S5)	-
G BN řez	4 (Sř)	Ri 3 (S3)	5/5
S BN	3 (S2)	Ri 3 (S4)	-
S BN řez	3 (S2)	Ri 3 (S4)	2/1
V BN	1 (S4)	Ri 0 (S0)	-
V BN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	2/1
B BN	1 (S3)	Ri 0 (S0)	-
B BN řez	0 (S0)	Ri 1 (S4)	2/1
T BN	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
T BN řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/1



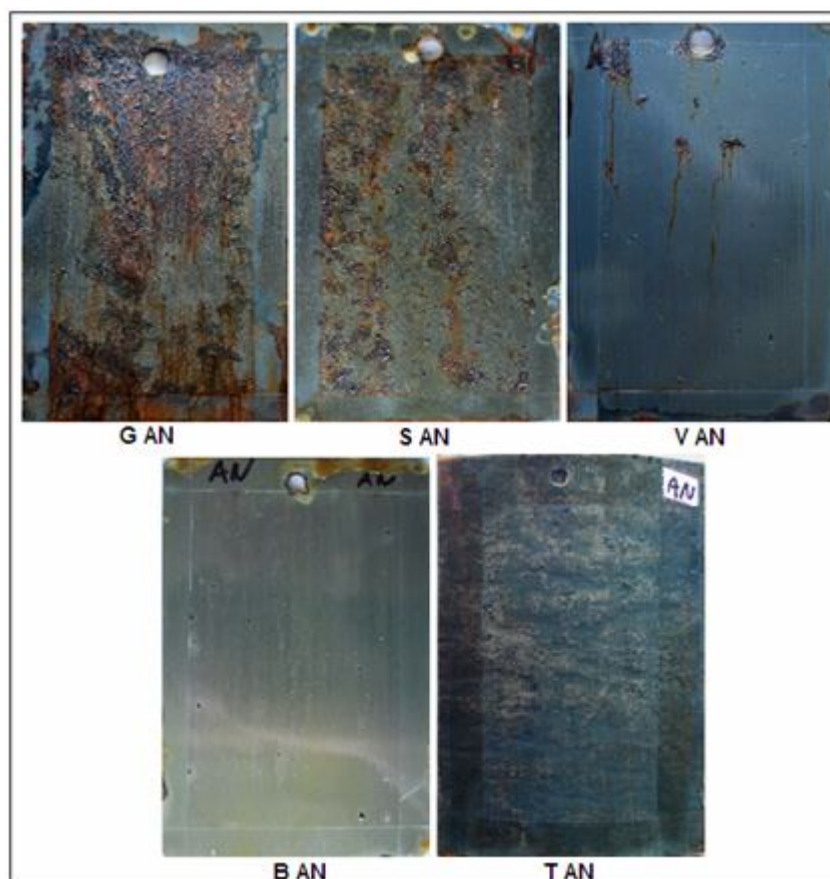
Obr. 7.18 Vzorky s povlakem BM po 120 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.33 Vyhodnocení degradace po 120 hodinách expozice

Doba expozice 120 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
G BM	4 (S5)	Ri 3 (S4)	-
G BM řez	5 (S5)	Ri 4 (S4)	5/5
S BM	2 (S2)	Ri 4 (S4)	-
S BM řez	4 (S4)	Ri 3 (S3)	3/1
V BM	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
V BM řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	2/1
B BM	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
B BM řez	0 (S0)	Ri 0 (S0)	2/2
T BM	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
T BM řez	3 (S5)	Ri 0 (S0)	2/2

Po 120 hodinách (1 rok a 8 měsíců) expozice v korozní komoře bylo již viditelné korozní napadení na vzorcích G a S opatřenými všemy typy nátěrových systémů. Na vzorcích V došlo k nepatrnému poškození a nepatrné počátky korozního napadení se začaly projevovat i na vzorku T AM.

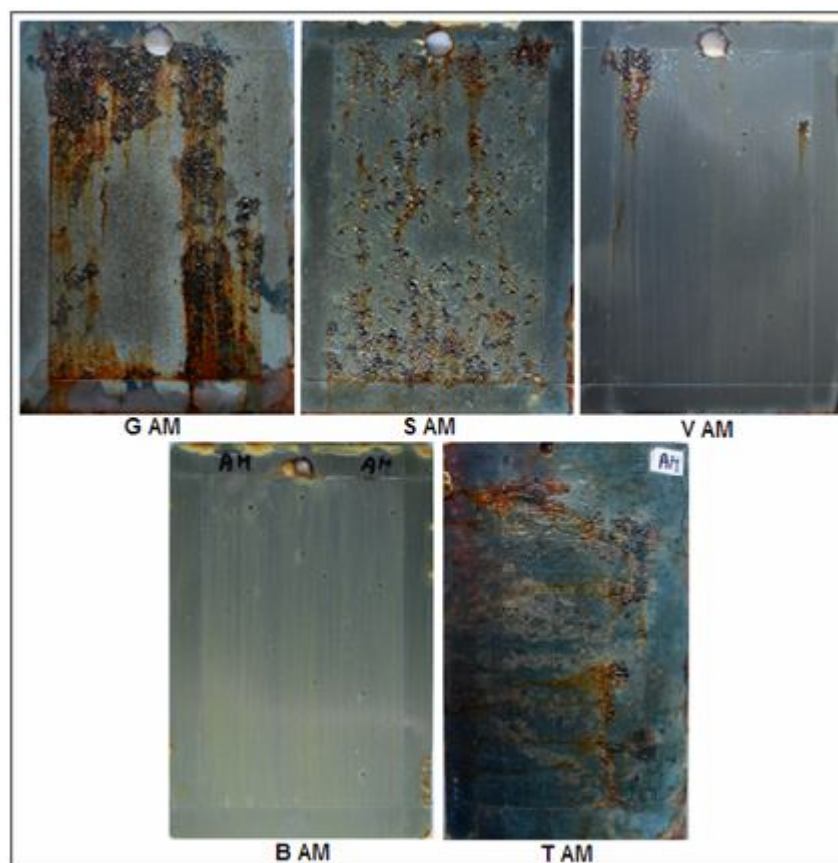
7.14.3 Fotodokumentace vzorků po 240 h expozice v korozní komoře



Obr. 7.19 Vzorky s povlakem AN po 240 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.34 Vyhodnocení degradace po 240 hodinách expozice

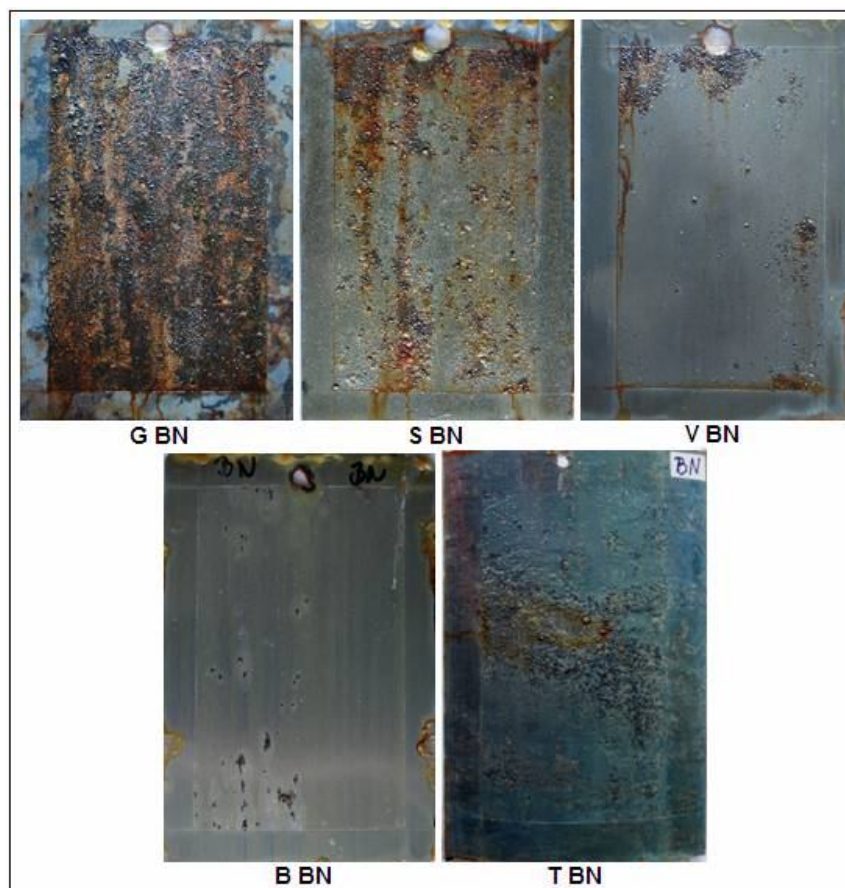
Doba expozice 240 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
G AN	0 (S0)	Ri 5 (S5)	-
G AN řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5
S AN	2 (S3)	Ri 4 (S4)	-
S AN řez	2 (S4)	Ri 5 (S5)	5/5
V AN	0 (S0)	Ri 2 (S4)	-
V AN řez	1 (S3)	Ri 0 (S0)	2/1
B AN	1 (S4)	Ri 0 (S0)	-
B AN řez	1 (S4)	Ri 0 (S0)	2/1
T AN	2 (S2)	Ri 0 (S0)	-
T AN řez	2 (S4)	Ri 2 (S2)	2/1



Obr. 7.20 Vzorky s povlakem AM po 240 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.35 Vyhodnocení degradace po 240 hodinách expozice

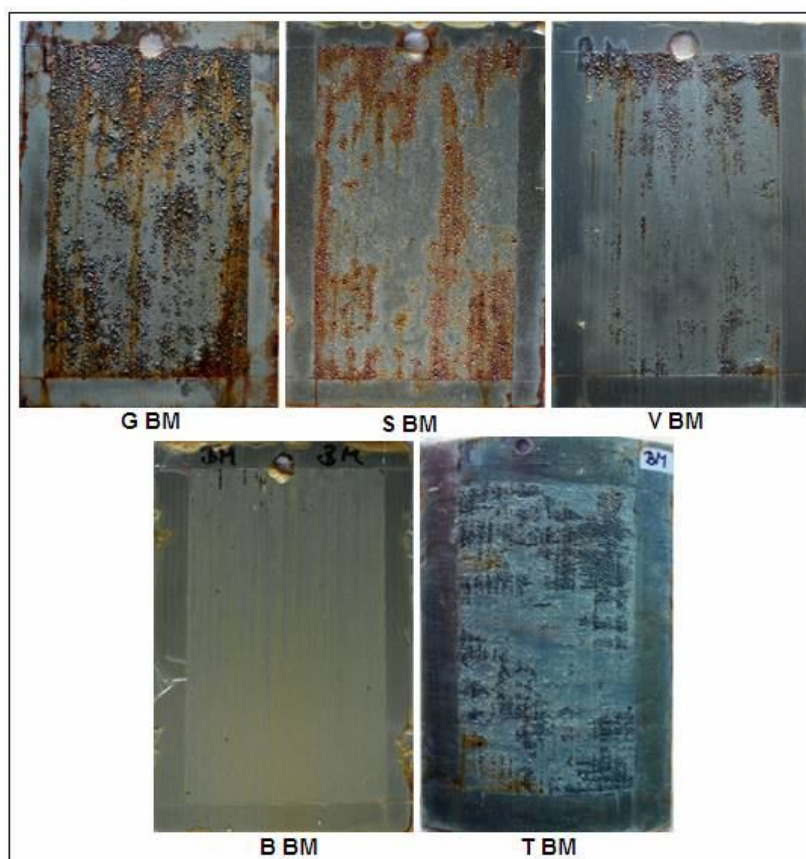
Doba expozice 240 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Stupeň koroze/delaminace
G AM	2 (S4)	Ri 4 (S5)	-
G AM řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5
S AM	3 (S4)	Ri 4 (S4)	-
S AM řez	3 (S2)	Ri 4 (S4)	4/2
V AM	1 (S4)	Ri 3 (S4)	-
V AM řez	1 (S2)	Ri 0 (S0)	4/1
B AM	1 (S2)	Ri 0 (S0)	-
B AM řez	1 (S3)	Ri 0 (S0)	4/1
T AM	1 (S4)	Ri 3 (S4)	-
T AM řez	3 (S3)	Ri 4 (S5)	5/5



Obr. 7.21 Vzorky s povlakem BN po 240 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.36 Vyhodnocení degradace po 240 hodinách expozice

Doba expozice 240 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorozavění	Stupeň koroze/delaminace
G BN	4 (S4)	Ri 5 (S5)	-
G BN řez	4 (S4)	Ri 5 (S5)	5/5
S BN	3 (S4)	Ri 4 (S4)	-
S BN řez	3 (S4)	Ri 4 (S4)	5/5
V BN	2 (S4)	Ri 0 (S0)	-
V BN řez	2 (S4)	Ri 0 (S0)	3/2
B BN	2 (S4)	Ri 0 (S0)	-
B BN řez	3 (S5)	Ri 1 (S4)	4/3
T BN	2 (S3)	Ri 2 (S3)	-
T BN řez	3 (S4)	Ri 1 (S2)	1/1



Obr. 7.22 Vzorky s povlakem BM po 240 hodinách expozice v korozní komoře

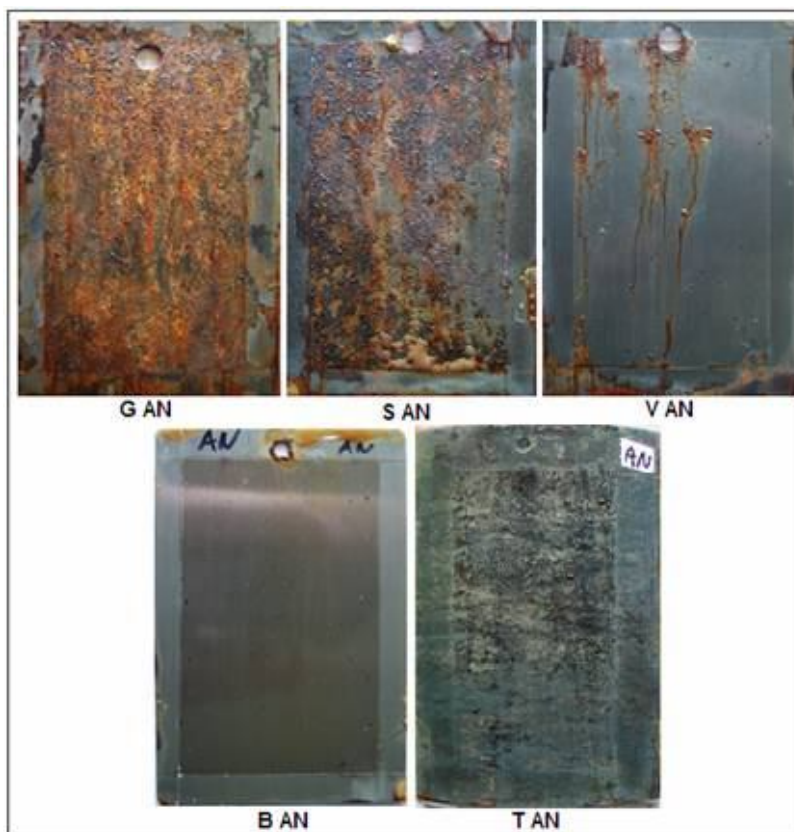
Tabulka 7.37 Vyhodnocení degradace po 240 hodinách expozice

Doba expozice 240 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Stupeň koroze/delaminace
G BM	4 (S4)	Ri 4 (S4)	-
G BM řez	5 (S5)	Ri 4 (S4)	4/3
S BM	3 (S4)	Ri 4 (S4)	-
S BM řez	4 (S4)	Ri 4 (S5)	4/1
V BM	4 (S4)	Ri 0 (S0)	-
V BM řez	3 (S4)	Ri 0 (S0)	3/1
B BM	1 (S2)	Ri 0 (S0)	-
B BM řez	1 (S2)	Ri 0 (S0)	3/2
T BM	3 (S4)	Ri 2 (S3)	-
T BM řez	5 (S5)	Ri 3 (S3)	3/2

Po 240 hodinách (3 roky a 4 měsíce) expozice v korozní komoře je korozní napadení na vzorcích G a S velice výrazné, na vzorcích V AN a V AM je korozní napadení malé. Na vzorcích broušených (B) se začínají projevovat drobné puchýřky. Na vzorcích s označením T dochází k projevům korozního napadení. U vzorků T AN dochází k nepatrnému puchýřkování, na vzorku T BM se puchýře vyskytují na větší části plochy vzorku. Větší

rozdíly jsou patrné ze vzorků opatřených řezem, který simuluje poškození nátěrového systému. Nejnižší porušení v řezu je vykazováno u vzorků válcovaných za tepla (T), za studena (V) a u vzorku broušeného (B) opatřených nátěrem s nízkým obsahem fosfátu zinku v nanorozměrech (AN).

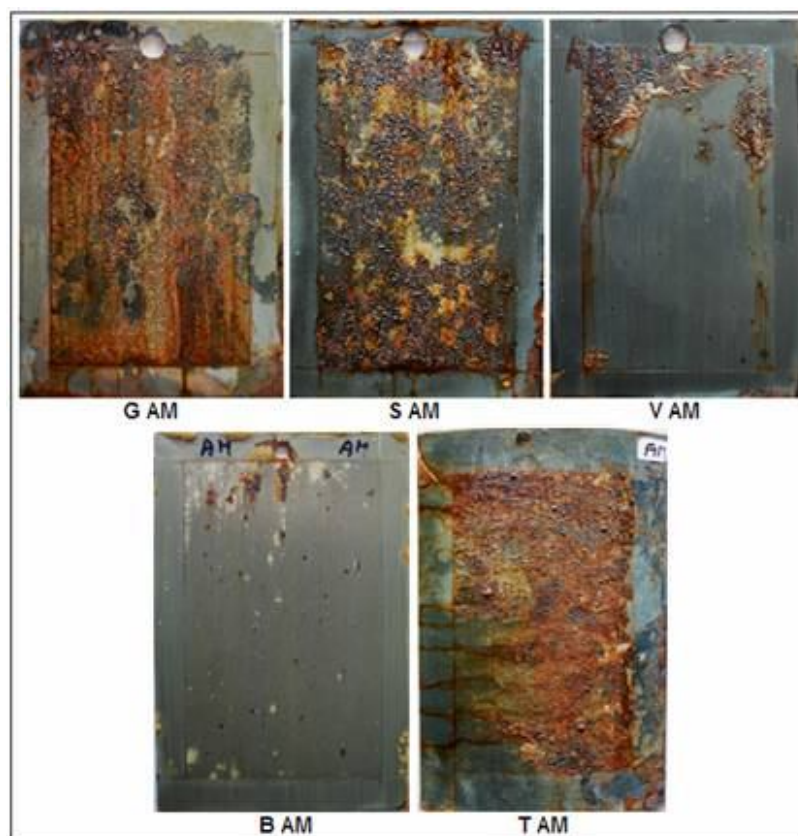
7.14.4 Fotodokumentace vzorků po 360 h expozice v korozní komoře



Obr. 7.23 Vzorky s povlakem AN po 360 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.38 Vyhodnocení degradace po 360 hodinách expozice

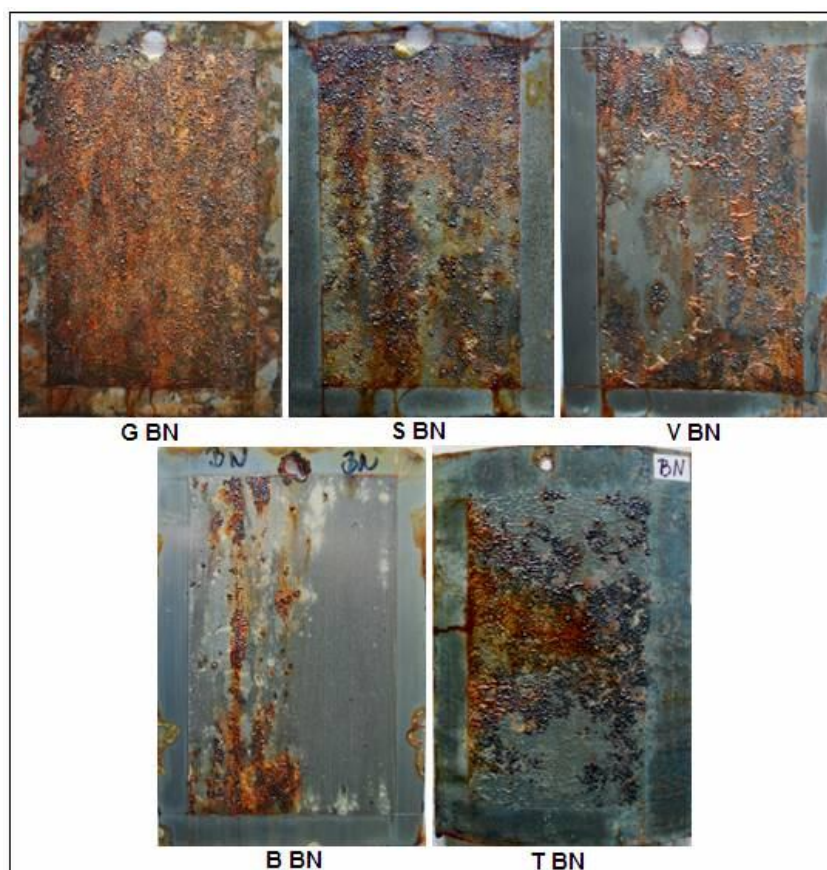
Doba expozice 360 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
G AN	0 (S0)	Ri 5 (S5)	-
G AN řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5
S AN	2 (S3)	Ri 5 (S5)	-
S AN řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5
V AN	2 (S4)	Ri 3 (S4)	-
V AN řez	2 (S4)	Ri 4 (S4)	2/1
B AN	1 (S4)	Ri 0 (S0)	-
B AN řez	1 (S4)	Ri 3 (S3)	2/1
T AN	4 (S3)	Ri 0 (S0)	-
T AN řez	3 (S4)	Ri 5 (S4)	2/1



Obr. 7.24 Vzorky s povlakem AM po 360 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.39 Vyhodnocení degradace po 360 hodinách expozice

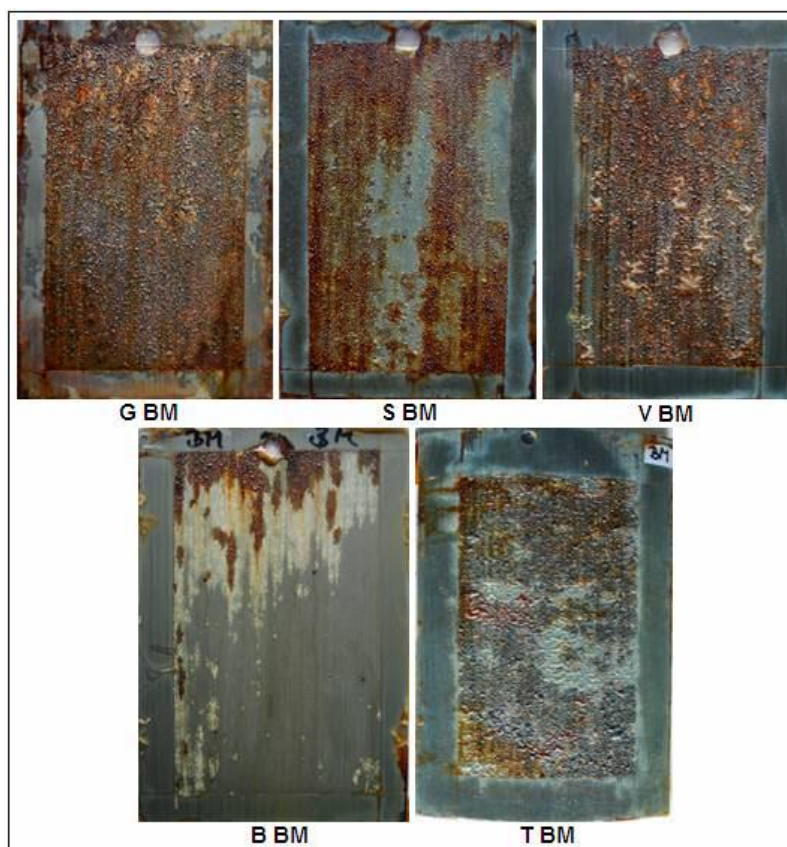
Doba expozice 360 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorozavění	Stupeň koroze/delaminace
G AM	0 (S0)	Ri 5 (S5)	-
G AM řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5
S AM	4 (S4)	Ri 5 (S5)	-
S AM řez	3 (S2)	Ri 5 (S5)	5/5
V AM	2 (S4)	Ri 4 (S5)	-
V AM řez	1 (S3)	Ri 5 (S5)	5/1
B AM	1 (S2)	Ri 3 (S4)	-
B AM řez	1 (S3)	Ri 4 (S4)	4/3
T AM	0 (S0)	Ri 5 (S5)	-
T AM řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5



Obr. 7.25 Vzorky s povlakem BN po 360 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.40 Vyhodnocení degradace po 360 hodinách expozice

Doba expozice 360 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Stupeň koroze/delaminace
G BN	0 (S0)	Ri 5 (S5)	-
G BN řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5
S BN	3 (S4)	Ri 5 (S5)	-
S BN řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5
V BN	3 (S4)	Ri 5 (S5)	-
V BN řez	2 (S4)	Ri 5 (S5)	5/5
B BN	2 (S4)	Ri 4 (S5)	-
B BN řez	3 (S4)	Ri 5 (S5)	5/5
T BN	3 (S3)	Ri 5 (S5)	-
T BN řez	4 (S4)	Ri 4 (S4)	2/1



Obr. 7.26 Vzorky s povlakem BM po 360 hodinách expozice v korozní komoře

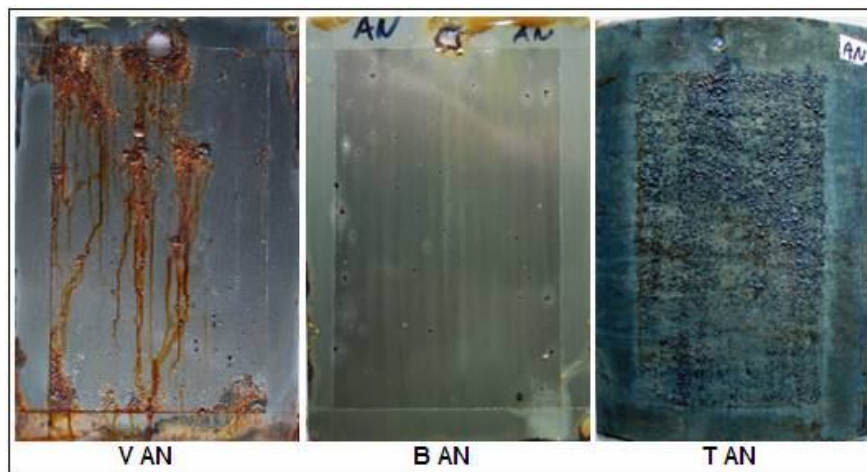
Tabulka 7.41 Vyhodnocení degradace po 360 hodinách expozice

Doba expozice 360 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
G BM	0 (S0)	Ri 5 (S5)	-
G BM řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5
S BM	3 (S4)	Ri 5 (S5)	-
S BM řez	4 (S4)	Ri 5 (S5)	5/5
V BM	4 (S5)	Ri 5 (S5)	-
V BM řez	4 (S4)	Ri 5 (S5)	5/5
B BM	4 (S4)	Ri 4 (S4)	-
B BM řez	4 (S4)	Ri 3 (S4)	4/4
T BM	4 (S4)	Ri 3 (S3)	-
T BM řez	4 (S4)	Ri 5 (S5)	5/5

Po 360 hodinách (5 let) expozice v korozní komoře jsou všechny 4 nátěrové systémy aplikované na vzorcích vzorky G a S vyřazeny pro svou úplnou degradaci. K velmi výraznému koroznímu napadení došlo i na vzorcích válcovaných za studena (V) otatřených nátěrovým systémem s vyšším obsahem nanočástic (BN) a mikročástic (BM). Nejnižší korozní napadení bylo zaznamenáno na vzorku válcovaném za studena (V), který byl

opatřený povlakem s nízkým obsahem nanočástic ZP10 a naprosto bezvýznamné napadení, kterému nelze přikládat žádnou váhu se projevilo na vzorku broušeném (B) opět s nátěrovým systémem AN. Z hlediska řezu patří rovněž tyto dva vzorky k nejméně korozně napadeným.

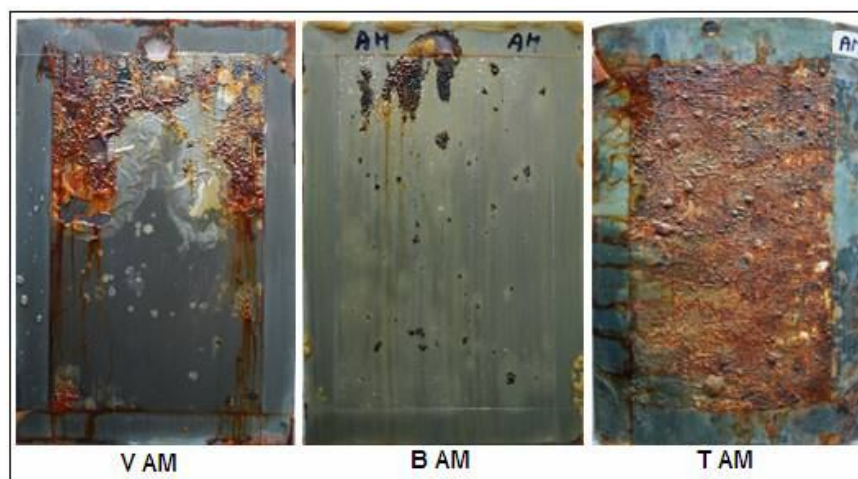
7.14.5 Fotodokumentace vzorků po 480 h expozice v korozní komoře



Obr. 7.27 Vzorky s povlakem AN po 480 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.42 Vyhodnocení degradace po 480 hodinách expozice

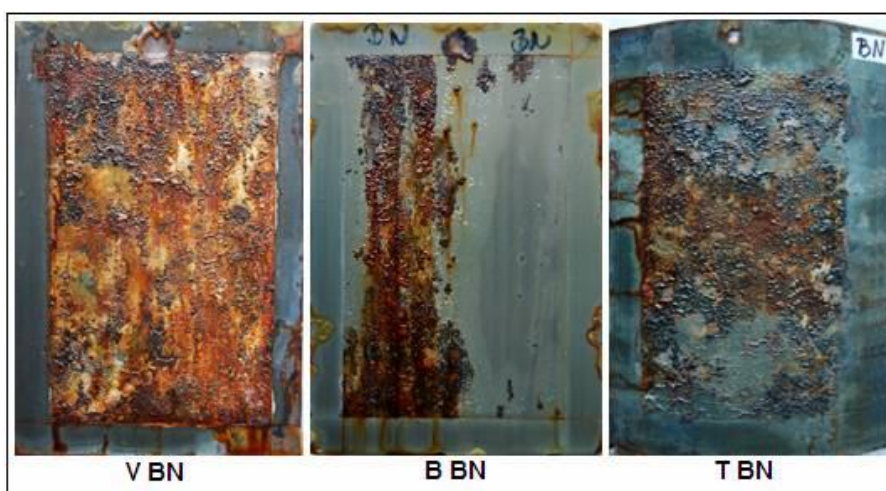
Doba expozice 480 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Stupeň koroze/delaminace
V AN	2 (S4)	Ri 3 (S4)	-
V AN řez	2 (S4)	Ri 4 (S4)	2/2
B AN	1 (S4)	Ri 0 (S0)	-
B AN řez	2 (S4)	Ri 3 (S3)	3/1
T AN	5 (S4)	Ri 0 (S0)	-
T AN řez	3 (S4)	Ri 5 (S4)	2/1



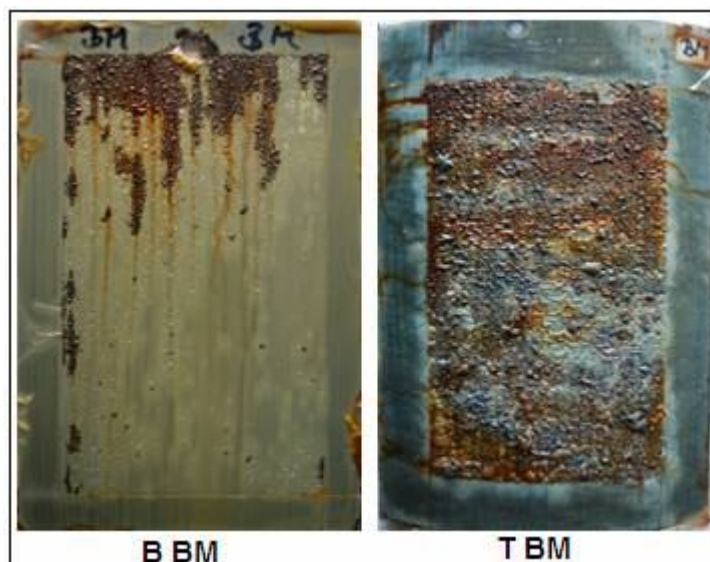
Obr. 7.28 Vzorky s povlakem AM po 480 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.43 Vyhodnocení degradace po 480 hodinách expozice

Doba expozice 480 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
V AM	3 (S4)	Ri 5 (S5)	-
V AM řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5
B AM	1 (S2)	Ri 4 (S4)	-
B AM řez	1 (S3)	Ri 4 (S4)	4/4
T AM	3 (S5)	Ri 5 (S5)	-
T AM řez	0 (S0)	Ri 5 (S5)	5/5

**Obr. 7.29** Vzorky s povlakem BN po 480 hodinách expozice v korozní komoře**Tabulka 7.44** Vyhodnocení degradace po 480 hodinách expozice

Doba expozice 480 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
V BN	3 (S4)	Ri 5 (S5)	-
V BN řez	2 (S3)	Ri 5 (S5)	5/5
B BN	2 (S4)	Ri 5 (S5)	-
B BN řez	3 (S3)	Ri 5 (S5)	5/5
T BN	3 (S3)	Ri 5 (S5)	-
T BN řez	4 (S5)	Ri 4 (S4)	2/1



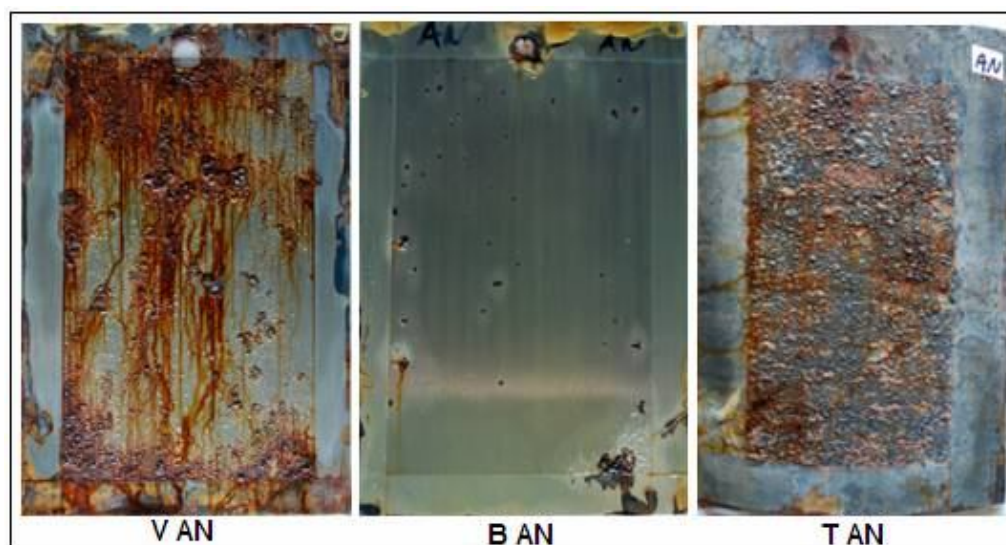
Obr. 7.30 Vzorky s povlakem BM po 480 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.45 Vyhodnocení degradace po 480 hodinách expozice

Doba expozice 480 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorozavění	Stupeň koroze/delaminace
V BM	4 (S5)	Ri 5 (S5)	-
V BM řez	4 (S4)	Ri 5 (S5)	5/5
B BM	4 (S4)	Ri 4 (S4)	-
B BM řez	4 (S4)	Ri 3 (S4)	4/4
T BM	4 (S4)	Ri 3 (S3)	-
T BM řez	4 (S4)	Ri 5 (S5)	5/5

Po 480 hodinách (6 let a 8 měsíců) expozice v korozní komoře se u vzorků válcovaných za studena (V) a broušených (B) opatřených nátěrovým systémem AN neprojevuje koroze tak rychle jako u vzorku ostatních. Ani u válcované trubky za tepla nedošlo ke koroznímu napadení, ale povrch je hustě pokryt puchýřky. U ostatních vzorků dochází k postupné či úplné degradaci povlaku u většiny vzorků s povlaky AM, BN a BM je korozní napadení na více než polovině plochy vzorku. V tomto cyklu byly vyřazeny vzorky T AM, T BN, T BM, V BN a V AM neboť byly částečně či zcela poškozeny. Z hlediska řezu je „nejnižší“ napadení dokumentováno u vzorků V AN a B AN.

7.14.6 Fotodokumentace vzorků po 720 h expozice v korozní komoře



Obr. 7.31 Vzorky s povlakem AN po 720 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.46 Vyhodnocení degradace po 720 hodinách expozice

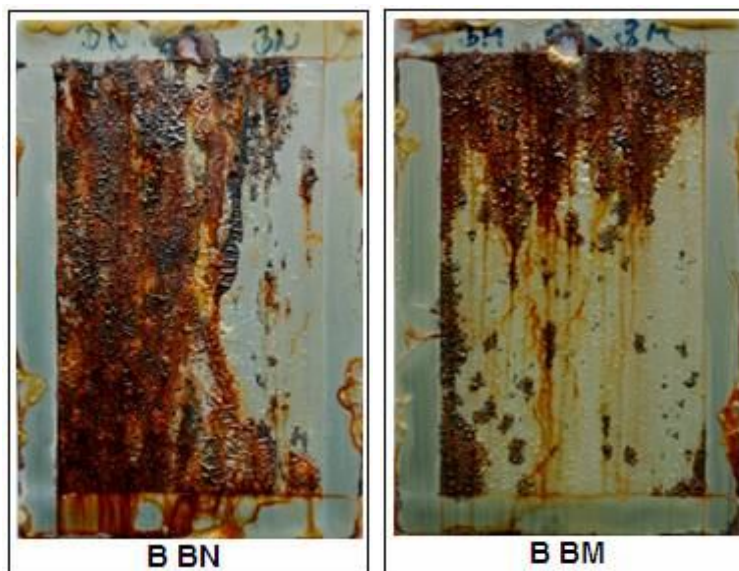
Doba expozice 720 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézavění	Stupeň koroze/delaminace
V AN	2 (S4)	Ri 5 (S5)	-
V AN řez	2 (S4)	Ri 5 (S5)	5/2
B AN	2 (S4)	Ri 2 (S3)	-
B AN řez	2 (S4)	Ri 3 (S3)	3/1
T AN	5 (S4)	Ri 5 (S5)	-
T AN řez	3 (S4)	Ri 5 (S5)	5/1



Obr. 7.32 Vzorek s povlakem AM po 720 hodinách expozice v korozní komoře

Tabulka 7.47 Vyhodnocení degradace po 720 hodinách expozice

Doba expozice 720 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
B AM	1 (S3)	Ri 4 (S4)	-
B AM řez	2 (S3)	Ri 5 (S5)	5/5

**Obr. 7.33** Vzorky s povlakem BN a BM po 720 hodinách expozice v korozní komoře**Tabulka 7.48** Vyhodnocení degradace po 720 hodinách expozice

Doba expozice 720 hodin			
Vzorek	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Stupeň koroze/delaminace
B BN	2 (S4)	Ri 5 (S5)	-
B BN řez	3 (S3)	Ri 5 (S5)	5/5
B BM	4 (S4)	Ri 5 (S5)	-
B BM řez	4 (S5)	Ri 5 (S5)	4/4

Po 720 hodinách (10 let) expozice v korozní komoře je výrazné postupující korozní napadení téměř na všech vzorcích. Je zaznamenán výrazný výskyt korozního napadení na válcované trubce za tepla opatřené nátěrovým systémem AN. Nejmenší a nejstabilnější korozní napadení se stále projevuje na vzorku broušeném (B) opatřený povlakem AN.

Zhodnocení

V prvních cyklech expozice všech vzorků byly výsledky korozní odolnosti téměř srovnatelné, k prvním odchylkám začalo docházet po 48 hodinové expozici v korozní komoře, kdy se začala projevovat první degradace nátěrových systémů AM, BN a BM aplikovaných na vzorky otrýskané ocelovou drtí (G) a měděnou struskou (S). Tato předčasná degradace může být způsobena vysokou drsností a nízkou tloušťkou suché vrstvy nátěrového systému. Vzorky opatřené nátěrovým systémem s nízkým obsahem nanočástic ZP10 (AN) byly bez viditelných projevů korozního napadení. Po 120 hodinách expozice už byla degradace u všech typů vzorků s různými nátěrovými systémy srovnatelná. U vzorků otrýskaných ocelovou drtí (G) a měděnou struskou (S) dochází k šíření korozního napadení. První korozní napadení se začíná objevovat i na vzorcích válcovaných za studena (V) i za tepla (T), rovněž i na vzorcích broušených (B), zde je však korozní napadení zcela zanedbatelné. Větší rozdíly v šíření degradace nejsou zaznamenány ani po expozici 240 hodin. Do tohtoto cyklu by se dalo říci, že mezi jednotlivými nátěrovými systémy je jen nepatrný rozdíl, neboť korozní napadení probíhá na stejně připravených typech povrchů ocelových substrátů podobně. Výraznější rozdíly jsou patrné po 360 expozice v korozní komoře kdy dochází k výraznějším rozdílům v degradaci jednotlivých vzorků. V této fázi jsou již vzorky otrýskané ocelovou drtí (G) a měděnou struskou (S) zcela poškozeny a vyřazeny z expozice. Tato rychlá degradace může být ovlivněna charakterem a vysokou drsností povrchu ocelového substrátu a nízkou tloušťkou povlaku. U vzorků válcovaných za studena (V), broušených (B) a válcovaných za tepla (T) opatřených nátěrovými systémy dochází k rozdílnému degradačnímu napadení vlivem lepší korozní ochrany nátěrového systému s nízkým obsahem fosfátu zinku v nanorozměrech (AN). Na vzorcích s tímto nátěrovým systémem není korozní napadení tak výrazné jako na vzorcích ostatních. Stejně výsledky lze vyčíst i z dokumentace vzorků opatřených řezem. Zde je u vzorků V AN, B AN a T AN zaznamenáno nejnižší korozní napadení v řezu vzhledem k ostatním vzorkům. Po posledním cyklu 720 hodin jsou již všechny vzorky z větší části nebo zcela korozně napadené. Pouze jediný broušený (B) vzorek opatřený nátěrem AN je korozně napaden jen nepatrně. Lze tedy říci, že nátěrový systém s nízkým obsahem fosfátu zinku v nanorozměrech je korozně odolnější než ostatní nátěrové systémy aplikované na tyto druhy vzorků. Dále lze říci, že rozhodujícím faktorem pro životnost tenkého povlaku je především charakter povrchu, drsnost a kotvící profil povrchu ocelového substrátu, ale také i čistota povrchu.

8 ZÁVĚR

V teoretické části této disertační práce, jsou zpracovány dosavadní poznatky o povrchu ocelového substrátu, jeho vlastnostech, integritě, drsnosti, atd. Dále je zde uvedeno mechanické čištění povrchu a výroba plechů a trub válcováním. Jsou zde i poznatky z problematiky nátěrových systémů, jejich rozdělení, složení a vlastnosti. Také jsou zde podrobněji rozebrány antikorozi pigmenty zinku, fosfátu zinku a oxidu zinečnatého a jejich mechanismus ochrany povrchu ocelového substrátu proti korozi. Také jsou zde uvedeny obecné informace na téma „nanotechnologie“.

Experimentální část disertační práce byla zaměřena na studium vlivu charakteru povrchu ocelového substrátu na transparentní nátěrové hmoty na bázi alkydové pryskyřice plněné malými částicemi fosforečnanu zinečnatého v mikro a nano rozměrech, které byly do nátěrového systému přimíchány v různých koncentracích. Nátěrové hmoty aplikované na jednotlivé typy povrchů byly navrženy pro krátkodobou korozní ochranu, tedy jen po dobu nezbytně nutnou pro převoz hutní produkce, což bylo stanoveno na dobu 6-ti měsíců. Jednotlivé koncentrace částic potřebných k pokrytí povrchu ocelového substrátu a potřebné k zaplnění aplikované vytvrzené vrstvy nátěrového systému z 1/4, byly teoreticky vypočteny dle navrženého vzorce. Celkem čtyři rozdílné nátěrové systémy byly aplikovány na pět prostudovaných typů povrchu s různým charakterem povrchu, drsnosti, kotvícím profilem a čistotě. Jednalo se o povrchy mechanicky očištěné otryskáváním a broušením a dva typy povrchů bez mechanické úpravy, plechy válcované za studena a trubka válcovaná za tepla. Povrch vzorků byl zmapován dotykovým profilometrem, nejvyšší drsnosti dosahoval vzorek otryskaný ocelovou drtí a trubka válcovaná za tepla, ale kotvící profily se u těchto vzorků výrazně lišily. Nejnižší drsnosti vykazovaly vzorky válcované za studena a vzorky broušené, kotvící profily u těchto dvou typů povrchů nepřesáhl hodnotu 10 μm , ale charakter povrchu se opět výrazně lišil. Na tyto vzorky byla aplikována tenká vrstva nátěrové hmoty. I přes nízkou tloušťku povlaku se na povrchu hotového povlaku nevyskytovaly trhliny, praskliny či jiné vady. To znamená, že výsledný povlak nebyl ovlivněn zbytkovými napětími, která se na těchto ocelových substrátech vyskytují. Převážně jde o zbytková napětí tlaková, ale u vzorku broušeného se vlivem technologického postupu opracování vyskytují i napětí tahová a to ve směru broušení. Nátěry tedy vykazují dobré elastické a viskózní charakteristiky. Tyto charakteristiky jsou do jisté míry ovlivněny velikostí použitého pigmentu a také koncentrací tohoto pigmentu v nátěrovém systému. Koncentrace a velikost použitého pigmentu má značný vliv na zpevnění suché vrstvy povlaku. Nejvyššího zpevnění povrchu dosahovaly nátěry s obsahem malého množství nanočástic ZP10, naopak nejvyšší zpevnění povrchu nátěrového systému bylo dosaženo u povlaku plněného vysokým obsahem ZP10 v mikrorozměrech. I přes tyto rozdíly byly elastické vlastnosti povlaku u všech typů nátěrových systémů dobré. Povlaky vykazovaly lepší přilnavost k povrchu broušenému a

válcovanému za tepla i za studena. U otryskaných povrchů byla přilnavost o stupeň horší, což může bylo dáno charakterem povrchu a také sekundárním znečištěním povrchu otryskávacími prostředky.

Vzorky byly podrobeny korozní zkoušce v solné mlze. Nátěrový systém s nízkou koncentrací fosfátu zinku v nanorozměrech odolal 48 hodinám expozice v korozní komoře bez jakéhokoliv poškození na povrchu i v řezu u všech typů vzorků, ostatní nátěrové systémy začaly pomalu degradovat na vzorcích otryskaných. U vzorků válcovaných a broušených zatím k degradaci nedošlo. Toto může být způsobeno tím, že nanočástice ve větší koncentraci mají tendence k tvorbě shluků, proto hůře tvoří souvislou bariérovou ochranu. Povlaky aplikované na válcovaných vzorcích a na vzorku broušeném lépe odolávaly koroznímu napadení, než povlaky na vzorcích otryskaných. Příčinou této degradace je nejen nízká tloušťka povlaku, vyšší drsnost povrchu ocelového substrátu a vysoká hodnota kotvícího profilu, ale i charakter a čistota povrchu ocelového substrátu. Mezi 120 – 360 hodinami expozice v korozní komoře se zdálo, že jednotlivé povrchy ocelových substrátů opatřeny různými nátěrovými systémy degradují stejnou rychlostí. Ovšem po expozici 360h se situace výrazněji změnila a nátěrový systém s obsahem nízkého množství nanočástic ZP10 dosahoval viditelně lepších ochranných vlastností. Až překvapivé korozní odolnosti dosáhla nátěrová hmota s nízkou koncentrací fosfátu zinku v nanorozměrech aplikovaná na broušeném dokonale čistém povrchu. I po 720 hodinách expozice v solné mlze byla degradace velice nízká, téměř úplně zanedbatelná.

Závěrem lze říci, že povrchy otryskané ocelovou drtí a měděnou struskou nejsou vhodnými nositeli těchto tenkých povlaků, příčinou může být nízká tloušťka povlaku která jde ruku v ruce s již výše zmiňovanou drsností a vysokou hodnotou kotvícího profilu. Dalším důležitým faktorem je čistota povrchu a charakter povrchu, který lze blíže specifikovat koeficienty asymetrie a špičatosti, důležitou roli může mít i průměrná šířka prvku profilu a s tím související i parametr počtu vrcholů na jednotku délky povrchu ocelového substrátu. Zbytková napětí na povrchu jednotlivých ocelových substrátů se k těmto tenkým povlakům jeví příznivě, nezapříčiňují tvorbu prasklin a následných trhlin těchto tenkých vrstev nátěrových systémů. Všechny čtyři druhy nátěrových systémů dosahovaly rozdílných antikorozních vlastností. Nátěrové systémy aplikované na povrchy s nižší drsností a kotvícím profilem dosahovaly lepší odolnosti proti korozi. Nejlépe se jevil nátěrový systém s nízkou koncentrací fosfátu zinku v nanorozměrech, což mohlo být dáno pravidelnějším rozložením těchto částic v povlaku.

9 SPOLEČENSKÝ PŘÍNOS

Povrchové úpravy kovů hrají velkou roli i v krátkodobé korozní ochraně hutní produkce hlavně při skladování a samotné expedici k odběrateli. Požadavky na konzervaci stále rostou. Převážně jde o funkční požadavky, požadavky na snižování nákladů na konzervaci a ekologické požadavky zejména snižování obsahu volně těkavých organických látek (*VOC látek*) dle Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2004/42/ES ze dne 21. dubna 2004. Směrnice se zabývá maximálním přípustným obsahem VOC látek v nátěrových hmotách. Velký důraz je kladen také na používání netoxických antikoročních pigmentů.

Výsledky disertační práce poukazují na vliv drsnosti ocelového substrátu na tenké povlaky plněné malými částicemi fosfátu zinku. Transparentní nátěrová hmota s nízkým obsahem fosfátu zinku v nanorozměrech nejlépe vyhovuje požadavkům pro krátkodobou korozní ochranu stanovenou na dobu 6-ti měsíců a vyhovuje všem 5-ti typům zkoumaných vzorků. Vysoká drsnost otryskaných povrchů negativně ovlivňuje korozní ochranu povlaku, neboť tloušťka suché vrstvy tohoto povlaku je pro tyto povrchy nedostačující, proto je degradace ochranného povlaku rychlejší. Tento transparentní nátěrový systém je schopen zajistit korozní ochranu po dobu 48 hodin v korozní komoře což odpovídá cca 8 měsícům reálné doby. Po uplynutí doby definované krátkodobé ochrany dochází ke koroznímu napadení otryskaných ocelových substrátů vlivem vyššího kotvícího profilu. Vyšší korozní odolnosti u těchto vzorků lze dosáhnout navýšením tloušťky povlaku.

Přínosem této práce je snížení tloušťky ochranných povlaků pro krátkodobou korozní ochranu a tím i snížení spotřeby nátěrových hmot. Zlepšení antikoročních vlastností vhodnou koncentrací a velikostí použitého antikoročního pigmentu. V tomto případě jde o velice nízkou koncentraci pigmentu nepřesahující 2 % fosfátu zinku. Nátěrový systém je bez obsahu volně těkavých organických látek (*VOC látek*) a použitý pigment fosfátu zinku je netoxický, tedy lze mluvit i o přínosu z ekologického a zdravotního hlediska. Před aplikací nátěrových systémů o tloušťce suché vrstvy 50 μm není nutná povrchová předúprava otryskáváním ocelovou drtí a měděnou struskou, proto lze tuto část technologického postupu vynechat, což může být přínosem zejména z hlediska ekonomického a časového. Transparentní nátěrový systém lze použít pro krátkodobou ochranu po dobu 6-ti měsíců pro všechny typy povrchů použitých v této disertační práci. 80 % takto upravených povrchů ocelových substrátů je běžně používána v praxi.

10 CONCLUSIONS

The theoretical part of this thesis, are processed by the current knowledge on the surface of the steel substrate and its characteristics, integrity, surface roughness, etc. It is described mechanical surface cleaning and manufacture of sheet metal and tube rolling. There are also lessons from the problems of coating systems, their distribution, composition and properties. Also, there are fuller anticorrosive pigments zinc, zinc phosphate and zinc oxide, and their mechanism of protection of the surface of the steel substrate against corrosion. There is also indicated some general information on "nanotechnology".

Results thesis point to the influence of surface roughness of steel substrate on a thin coating with small particles of zinc phosphate. Transparent paint is low in zinc phosphate nano-size best suits the requirements for short term corrosion protection provided for a period of 6 months and meets all the 5-types of samples. High roughness of blasted surfaces adversely affects the corrosion protection coating for dry film thickness of the coating on these surfaces is insufficient, because the protective coating degradation is faster. This transparent coating system is able to provide corrosion protection for 48 hours in the corrosion chamber, which corresponds to approximately 8 months in real time. After the expiry of term of protection is defined by the corrosion attack blasted steel substrates due to higher anchor profile. Higher corrosion resistance of these samples can be achieved by increasing the coating thickness.

Contribution of this work is the reduction in the thickness of protective coatings for corrosion protection of short-term and thereby reduce consumption of paints. Improve anti-corrosion properties of the appropriate concentration and size of the anti-corrosive pigment. In this case a very low concentration of pigment, not more than 2 % zinc phosphate. Coating system is free free of volatile organic compounds (VOC) and zinc phosphate pigment used is nontoxic, so you can talk as well as benefit from an environmental and health issues. For the coating system dry film thickness of 50 μm is necessary surface pretreatment blasting grit and copper slag, and therefore this part of the technological process which can be omitted particularly beneficial in terms of economic and time. Coating system can be used for short-term protection for a period of 6 months for all types of surfaces used in this thesis. 80 % of the surface thus prepared steel substrates is commonly enjoyment in practice.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARABASZOVÁ, K. *Nanotechnologie a nanomateriály*, Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006, 158s., ISBN 80-248-1210-X
- [2] BARTONÍČEK, R., et al. *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1966, 720 s.
- [3] BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCE, P. *European Coating Handbook*. Th. Schafer, Hannover, Germany, 200, 410 s. ISBN 80-03-00205-2
- [4] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1989, 1. vydání, 340s. 04-252-89
- [5] ČTVRTLÍK, R., et al. Možnosti měřicího systému NanoTestTM NT600. *Jemná optika a mechanika – vědecko-technický časopis*. 2005, číslo 7-8, ročník 50, str. 211-214. ISSN 0447-6441 .
- [6] DOBROVODSKÁ, L. *Studium vlivu drsnosti ocelového substrátu na vlastnosti povlaků plněných malými částicemi*. Ostrava 2009, 41s., Fakulta strojní, VŠB – TU Ostrava, Teze doktorské disertační práce. Vedoucí tezí Podjuklová, J.
- [7] DOBROVODSKÁ, L. *Studium nátěrových systémů pro náročná korozní prostředí*. Ostrava 2007, 53 s., Vědecké spisy Fakulty strojní na VŠB – TU Ostrava, Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce Podjuklová, J.
- [8] DOBROVODSKÁ, L. *Studium koroze povrchu kovového materiálu po čištění a před aplikací nátěru*. Ostrava 2005, 44 s. Vědecké spisy Fakulty strojní na VŠB – TU Ostrava, Bakalářská práce. Vedoucí bakalářské práce Podjuklová, J.
- [9] FILIPOVÁ, M. *Studium vlivu povrchové úpravy podkladového materiálu na vlastnosti aplikovaných povlaků*. Ostrava 2006, 63s., Vědecké spisy Fakulty strojní na VŠB – TU Ostrava, Edice: Autoreferáty disertačních prací. Vedoucí disertační práce Podjuklová, J., ISBN 80-284-1139-1
- [10] JIRÁSEK, J., VAVRO, M. *Nerostné suroviny a jejich využití – Minerální pigmenty a barviva*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3
- [11] KALEDOVÁ, A., et al. Pigmenty a plniva pro úpravu antikorozních vlastností nátěrových hmot. *CHEMagazín*. 2005, číslo 1, ročník XV, str. 24 – 27. ISSN 1210-7409
- [12] KALEDOVÁ, A., TAMCHYNOVÁ, P. Studium nátěrových systémů pro korozní ochranu kovových materiálů z hlediska výběru pojiv a pigmentů. *CHEMagazín*. 2003, číslo 1, ročník XIII, str. 28 – 31. ISSN 1210-7409.

- [13] KALEDOVÁ, A., KUKAČKOVÁ, A. Částice práškového zinku jako korozně inhibiční pigment. *CHEMagazín*. 2002, číslo 6, ročník XII, str. 16 – 18. ISSN 1210-7409
- [14] KALEDOVÁ, A. *Studium korozně – inhibiční účinnosti nátěrových systémů pro povrchovou úpravu ocelových konstrukcí*, 2000, 48s., Fakulta strojní, VŠB – TU Ostrava, Teze habilitační práce.
- [15] KLUSON, P., et al. Vítejte v „NANOSVĚTĚ“. *Chemické listy – časopis*. 2007, str. 262-272. ISSN 1213-7103
- [16] KRÍŽ, A., ŠIMEČEK, J. Relationship between Surface Integrity and end-use Properties of a Product. In *Vrstvy a Povlaky 2009. Zborník přednášek, Rožnov pod radhoštěm*, str. 52-64. ISBN 978-80-969310-9-5
- [17] KUBÁTOVÁ, H., et al. *Nátěry kovů*. Grada publishing, spol. s r. o., 2000, 101s. ISBN 80-247-9035-1
- [18] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky. Úvaly 2008, pomocná učebnice pro školy technického zaměření*, vyd. 4, 913 s. ISBN 978-80-7361-051-7
- [19] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty, VŠB – TU Ostrava, 2000, 2.vydání, 156 s. ISBN 80-7078-953-0
- [20] NOVÁK, M., HOLEŠOVSKÝ, F. Studium integrity broušeného povrchu. *Výrobné inženýrstvo – časopis*. 2008, str. 11-13. ISSN 1335-7972.
- [21] OCHODEK, V. *Posouzení povrchových vrstev materiálu pod transparentním nátěrovým systémem magnetoelastickou metodou*. 2010. VŠB – TU Ostrava, Katedra mechanické technologie – ústav svařování, 9 s.
- [22] OCHODEK, V. Residual stress evaluation in spirally welded pipes for gas pipeline. In. *6th International Conference on Barkhausen Noise and Micromagnetic Testing, ICBM 6, 9-10 July 2007, Valenciennes, University of Valenciennes, France*, ISBN 951-98400-7-9
- [23] OCHODEK, V. „Měření zbytkových napětí magnetoelastickou metodou na plynovodních potrubích z materiálu X70“. VŠB–TU Ostrava, r. 2006.
- [24] OTÁHAL, R., HOCHMANOVÁ, L. Antikoroziční nátěrové hmoty plněné lístkovým zinkem. *Konstrukce – odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství*. 2008, číslo 1., ročník 7., str. 48-51. ISSN 1213-8762.
- [25] PODJUKLOVÁ, J., et al. *Komplexní systém krátkodobé a dlouhodobé antikoroziční ochrany materiálů hutní produkce*; Průběžná zpráva projektu ME 08083 za rok 2009, NANO – 07; VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie.

- [26] PODJUKLOVÁ, J., et al. *Komplexní systém krátkodobé a dlouhodobé antikorozi ochrany materiálů hutní produkce*; Průběžná zpráva projektu ME 08083 za rok 2008, NANO – 07; VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie.
- [27] PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty, VŠB – TU Ostrava, 1994, 1. vydání, 71s., ISBN 80-7078-235-8
- [28] POLEDNO, M., KALEDOVÁ, A. Antikorozi pigmenty pro ekologické nátěrové hmoty. *CHEMagazín*. 2002, číslo 3, ročník XII, str. 10 – 12. ISSN 1210-7409.
- [29] RŮŽIČKA, Z. Základové nátěrové hmoty plněné lamelárním zinkem. *Konstrukce – odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství*. 2006, číslo 5., ročník 5., str. 38-39. ISSN 1213-8762.
- [30] SIOSTRZONEK, R. *Studium vývojové řady ochranných systémů na bázi siloxanu*. Ostrava 2007, 150 s., Vědecké spisy Fakulty strojní na VŠB – TU Ostrava, Disertační práce. Vedoucí disertační práce Podjuklová, J.
- [31] SKÁCEL, F., TEKÁČ, V. Nástroje regulace použití organických rozpouštědel v české a evropské legislativě. In *Povrchové úpravy 2006. Sborník přednášek 20. ročník konference, hotel Slunce Havlíčkův Brod*. Agentura AMA Jihlava, listopad 2006, s. 5 – 8. ISBN 80-239-8107-0
- [32] SVOBODA, M. *Protikorozi ochrana kovů organickými povlaky*. SNTL – Nakladatelství technické literatury. Praha 1985, vyd. 1, 240 s.
- [33] ŠIMŮNKOVÁ, E., BAYEROVÁ, T. *Pigmenty*. Společnost pro technologie ochrany památek – STOP, Praha 1999, 1. vydání, 127s. ISBN 80-902668-1-9
- [34] ŠIMŮNKOVÁ, E., KARHAN, J. *Pigmenty, barviva a metody jejich identifikace*. VŠCHT - Fakulta chemické technologie, Praha 1993, 113s. ISBN 80-7080-194- 8
- [35] ŠTĚPÁNEK, I. *Hodnocení rozdílných vzorků se speciálními nátěry statickou a vrypovou indentací a rtg fluorescenční analýzou doplněnou kalotestovým výbrusem*. 2010. Západočeská univerzita v Plzni, Ústav materiálových věd, 144 s.
- [36] Technická zpráva: *“Rozvoj ochrany nátěrového systému na bázi nanoinhibitorů a nanopigmentů pro protikorozi ochranu ocelových výrobků”*, NII LKP Choťkovo se zkušebním strojírenským závodem “VIKTORIA” duben 2009, 8 s.
- [37] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie, část I*. Učební texty, VŠB – TU FS, Ostrava, 2004, 112s., ISBN 80-248-0672 - X

Webové stránky:

- [38] ÁBEL, M., BREZINOVÁ, J., DRAGANOVSKÁ, D. Vlastnosti povrchu předupraveného tryskaním. *Transfer inovací – Internetový časopis*. [online]. Červen 2003, str. 84-87. ISSN 1337-7094, ISBN 80-7093-6. [cit. 2010-02-04]. Dostupné z: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/6-2003/pdf/84-87.pdf>>
- [39] BARTOVSKÁ, L., ŠIŠKOVÁ, M. *Co je co v povrchové a koloidní chemii*. [online]. Výkladový slovník. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005, 229s. [cit. 2009-05-15] Dostupné z: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/ebook.help.htm>
- [40] BEROUN, S. *Úvod do strojírenství: Technologie tváření kovů*. [online]. Okruhy problémů ke zkoušce. Technická univerzita v Liberci. 2009, 10 s. [cit. 2010-04-22]. Dostupné z: <http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf>
- [41] BUMBÁLEK, B. Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti dané plochy pro její funkci. *Kvalita a geometrické specifikace produktů – internetový časopis*. [online]. VUT Brno 2005, 6 s. ISSN 1801-5352, [cit. 2009-12-16]. Dostupné z: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf>
- [42] BUMBÁLEK, L., BUMBÁLEK, B. Pokročilé trendy v hodnocení textury povrchu. *Kvalita a geometrické specifikace produktů – internetový časopis*. [online]. VUT Brno 2005, 4 s. ISSN 1801-5352 [cit. 2009-04-07]. Dostupné z: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/44_Bumbalek_VUTBR.pdf/>.
- [43] DHOKE, S. K., KHANNA, A. S., JAI MANGAL SINHA, T. Effect of nano-ZnO particles on the corrosion behavior of alkyd-based waterborne coating. *Progres in Organic Coatings*. [online]. Elsevier 2009, Volume 64., vydání 4., str. 371-382. ISSN 0300-9440 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6THD-4TFV91J-1-1C&_cdi=5280&_user=822117&_pii=S0300944008001811&_orig=search&_coverDate=03%2F31%2F2009&_sk=999359995&view=c&wchp=dGLbVtz=zSkzk&md5=73dc1b890b492ab986aa65ff2833a5bd&ie=/sdarticle.pdf>
- [44] DRAGANOVSKÁ, D. Analýza mikrogeometrie otryskaných kovových povrchov a ich vizualizácia. *Mezinárodní vědecká konference Povrchové inženýrstvo 2009, Košice. Transfer inovací – Internetový časopis*. [online]. Str. 118-122. ISSN 1337-7094. [cit. 2009-11-12]. Dostupné z: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/15-2009/pdf/118-122.pdf>>

- [45] Kolektiv autorů. *Úvod do strojírenství*. [online]. Učební texty. Liberec 2001, 188 s. ISBN 80-7083-538-9. [cit. 2010-04-22]. Dostupné z:
<http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/kap4>
- [46] KOLNEROVÁ, M. *Speciální technologie: Povrchy povlaků – mikrogeometrie*. [online]. Studijní materiály. Technická univerzita v Liberci. 9 s. [cit. 2010-04-22]. Dostupné z:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/povrchy%20povlaku>
- [47] KUČEROVÁ, I., et al. *Vlastnosti pigmentů*. [online]. Návod k laboratorním pracím. VSCHT Praha 2008. [cit. 2009-04-14]. Dostupné z:
<http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_vlastnosti_pigmentu/index.htm>
- [48] KVASNIČKOVÁ, A. *Aplikace nanotechnologie v potravinářství*. [online]. 2008. 83 s. Ústav zemědělské ekonomiky a informací. Článek 68662. [cit. 2010-04-27]. Dostupné z:
<http://www.agronavigator.cz/UserFiles/File/Agronavigator/Kvasnickova_2/Nanotechnologie_web-final.pdf>
- [49] LENFELD, P. *Technologie II: Tváření kovů*. Studijní materiály. [online]. Technická univerzita v Liberci. 9 s. [cit. 2010-04-22]. Dostupné z:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm>
- [50] MALINSKÝ, P. *Studium procesů ve strukturách polymer/kov modifikovaných plasmatickým výbojem s využitím jaderných analytických metod*. [online]. Ústí nad Labem 2007, 78 s. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce: Macková, A. [cit. 2010-05-06]. Dostupné z:
<http://neutron.ujf.cas.cz/vdg/MatlaDiplomka.pdf>
- [51] Michigan Tech [online]. [cit. 2009-05-24]. Dostupné z:
<<http://www.phy.mtu.edu/yap/images/ZnONanobeltslg.jpg>>
- [52] MICHNA, Š. *Tváření*. [online]. Učební texty. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. 119 s. [cit. 2010-04-22]. Dostupné z:
<http://www.stefanmichna.com/download/tvareni/opora_tvareni.pdf>
- [53] NANOPIN – Výzkumné centrum pro nanopovrchové inženýrství. *Vlastnosti fotokatalytického TiO₂*. [online]. 2006. Projekt 1M0577. [cit. 2010-04-27]. Dostupné z:
<http://www.nanopin.cz/cz/cz_page01.html>
- [54] *Nanotechnologie a nanomateriály*. Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje se sídlem v Ostravě. [online]. [cit. 2009-04-16]. Dostupné z:
<<http://www.khsova.cz/01aktuality/nanotechnologie.php?datum=2009-03-18>>.

- [55] NĚMEČEK, J. *Měření mikromechanických vlastností*. [online]. ČVUT Praha 2007. [cit. 2010-05-22]. Dostupné z: <<http://ksm.fsv.cvut.cz/~nemecek/research/pict/mikromechanika.pdf>>
- [56] Scratch adhesion tester. [online]. [cit. 2010-06-22]. Dostupné z: <<http://www.pvd-coatings.co.uk/scratch-adhesion-tester.htm>>
- [57] SEDLÁK, J. *Mikrovlákná syntéza ZnO částic*. [online]. Zlín 2008, 52 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Bakalářská práce. Vedoucí bakalářské práce: Kuřitka, I. [cit. 2010-04-27]. Dostupné z: <https://www.stag.utb.cz/apps/stag/dipfile/index.php?download_this_unauthorized=8041>
- [58] ŠMILAUEROVÁ, R. *Nanotechnologie hrají všemi barvami*. [online]. 2006, [cit. 2009-04-16]. Dostupné z: <<http://scienceworld.cz/medicina/nanotechnologie-hraji-vsemi-barvami-1502>>.
- [59] ŠVANTNER, M., et al. *Holle Drilling Residual Stress Measurement of Thermal Sprayed Coatings*. Experimentální analýza napětí. 2004. [online]. [cit. 2009-11-12]. Dostupné z: <<http://www.umat.fme.vutbr.cz/osem/pdf/ean2004/pdf/Svantner.pdf>>
- [60] *Technologie tryskání*. 1. Toušeňská s. r. o. [online]. [cit. 2009-012-12]. Dostupné z: <<http://www.1tousenska.cz/sluzby.php>>
- [61] TENGLER, M., ŠTĚPÁNEK, I., NETUŠILOVÁ, D. Hodnocení hloubkových profilů mechanického chování polymerních materiálů pomocí nanoindentace. *Metal 2007 – Sborník přednášek, Hradec nad Moravicí 2007*. [online]. Str. 1-7. [cit. 2010-05-21]. Dostupné z: <<http://www.nanocon.cz/data/metal2007/sbornik/Lists/Papers/162.pdf>>
- [62] *Testovací fixy a inkousty k určení povrchového napětí: Návod k obsluze*. [online]. Gamin s.r.o. 3 s. [cit. 2009-05-24] URL: <<http://www.gamin.cz/soubory/1061.pdf>>
- [63] YANG, L. H., LIU, F. C., HAN, E. H. Effects of P/B on the properties of anticorrosive coatings with different particle size. *Progres in Organic Coatings*. [online]. Elsevier 2005, Volume 53., vydání 2., str. 91-98. ISSN 0300-9440 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6THD-4G4N5R2-1&_user=10&_coverDate=06%2F01%2F2005&_alid=1360419283&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5280&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=338&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=9dba13cc5e85682d037cf47140883e61>

- [64] YEREZHEPOVÁ, D., et al. Fotokatalytická inaktivace mikroorganismů na tenkých vrstvách TiO₂. *Seminář centra NANOPIN – Sborník příspěvků*. [online]. VŠCHT Praha 2008, str. 61-63. ISBN 978-80-7080-681-4 [cit. 2010-05-02]. Dostupné z: <<http://www.nanopin.cz/pdf/sbornik08.pdf> >
- [65] ZBORIL, R. *Nanočástice oxidů železa připravené reakcí v pevné fázi: mechanismus tvorby, vlastnosti, aplikace*. [online]. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci. Habilitační práce, Olomouc 2005. [cit. 2009-04-16]. Dostupné z: <http://www.upol.cz/fileadmin/user_upload/PrFdokumenty/Vedecka_rada/Habilitace_a_profesury/ukon_prof/Zboril_Radek/Habilitacni_prace-Zboril.pdf>.
- [66] URL: <www.obrazky.cz> [online] [cit. 2009-05-12].

Normy:

- [67] ČSN EN ISO 16276-2 – *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha, Český normalizační institut, 2008.
- [68] ČSN EN ISO 2409 – *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha, Český normalizační institut, 2007.
- [69] ČSN EN ISO 2808 - *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky*. Praha, Český normalizační institut, 2007.
- [70] ČSN EN ISO 4287 – *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Prifilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha, Český normalizační institut, 1999.
- [71] ČSN EN ISO 4628-1 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity změn vzhledu – Část 1: Obecný úvod a systém klasifikace*. Praha, Český normalizační institut, 2004.
- [72] ČSN EN ISO 4628-2 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Praha, Český normalizační institut, 2004.
- [73] ČSN EN ISO 4628-3 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prerezávání*. Praha, Český normalizační institut, 2004.
- [74] ČSN EN ISO 4628-8 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu*. Praha, Český normalizační institut, 2005.

- [75] ČSN EN ISO 8501-1 – *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zrezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha, Český normalizační institut, 2007.
- [76] ČSN ISO 8502-3 – *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepící páskou)*. Praha, Český normalizační institut, 1996.
- [77] ČSN EN ISO 8503-5 - *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů – Část 5: Určení profilu povrchu páskou metodou repliky*. Praha, Český normalizační institut, 1999.
- [78] ČSN EN ISO 9227 – *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. Praha, Český normalizační institut, 2007.

PUBLIKACE AUTORA SOUVISEJÍCÍ S DANOU PROBLEMATIKOU

- I PODJUKLOVÁ, J., HRABOVSKÁ, K., PELIKÁNOVÁ, K., DOBROVODSKÁ, L. Studium vlivu úpravy povrchu na vlastnosti ochranných povlaků. In *Mezinárodní konference POVRCHOVÉ INŽINIERSTVO 2007*. Košice, Slovensko, listopad 2007, str. 225 – 230, ISSN 1335 – 2393.
- II PODJUKLOVÁ, J., HRABOVSKÁ, K., PELIKÁNOVÁ, K., DOBROVODSKÁ, L. Studium vlivu úpravy povrchu na přilnavost nátěrových systémů plněných zinkem. In *X. konference Ocelové konstrukce 2008*. Karlova Studánka, duben 2008, str.49 - 55 , ISBN 978-80-86604-37-4.
- III PODJUKLOVÁ, J., HRABOVSKÁ, K., DOBROVODSKÁ, L., PELIKÁNOVÁ, K., LANÍK, T. *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků*. 18. Mezinárodní konference metalurgie a materiálů METAL 2008. Hradec nad Moravicí, květen 2009, str. 66, ISBN 978-80-87294-03-1.
- IV PODJUKLOVÁ, J., DOBROVODSKÁ, L., PELIKÁNOVÁ, K., LANÍK, T., HRABOVSKÁ, K. Ekologický nátěrový systém v podmínkách korozní zátěže. In *Mezinárodní konference INTERANTIKOR 2008*. Herľany, Slovensko, listopad 2008, str. 221 – 224, ISSN 1335 –2393.
- V PODJUKLOVÁ, J., DOBROVODSKÁ, L., PELIKÁNOVÁ, K., LANÍK, T., HRABOVSKÁ, K. Studium vlivu solícího prostředku na korozní odolnost nátěrového systému. In *XI. Konference ocelové konstrukce 2009*. Karlova Studánka, duben 2009, str. 131 – 138, ISBN 978-80-86604-45-9.
- VI PODJUKLOVÁ, J., LANÍK, T., HRABOVSKÁ, K., DOBROVODSKÁ, L., PELIKÁNOVÁ, K., MENŠIKOV, V. V. Evolutionary Trends in Using of Protective Coating. Conference proceedings, In *METAL 2009*, Hradec nad Moravicí, May 2009, pg 285 - 289, ISBN 978-80-87294-10-9. Publikace v databázi Web of Science. URL: < www.isiknowledge.com> [2009.12.12]
- VII PODJUKLOVÁ, J., HRABOVSKÁ, K., PELIKÁNOVÁ, K., DOBROVODSKÁ, L., LANÍK, T. MENŠIKOV, V. V., FARANA, R.: Vliv velikosti částic přísad ochranných povlaků na jejich vlastnosti. In *II. Sibiřské fórum o nátěrových systémech*. Irkutsk, Listvjanka, Ruská federace, září 2009, str. 14 - 23, ISBN 978-5-9901286-4-4.
- VIII DOBROVODSKÁ, L., PODJUKLOVÁ, J., HRABOVSKÁ, K., LANÍK, T., PELIKÁNOVÁ, K., MENŠIKOV, V. V.: Vývojové trendy v použití ochranných povlaků. In *Sborník konference NANOCON 2009*. 1. ročník konference s mezinárodní účastí Nanocon 2009. Rožnov pod Radhoštěm, říjen 2009, č. př. 89, ISBN 978-80-87294-12-3. URL: < <http://www.nanocon.cz/sbornik/Lists/Papers/089.pdf>> [2009.12.12]

- IX PODJUKLOVÁ, J.; PELIKÁNOVÁ, K.; DOBROVODSKÁ, L.; LANÍK, T.; BÁRTEK, V.; HRABOVSKÁ, K.; MENŠÍKOV, V. V. Vývojové trendy v protikorozi ochraně materiálů hutní produkce tenkými povlaky. In *XII. Konference Ocelové konstrukce 2010*. Karlova Studánka, duben 2010, str. 103 – 108. ISBN 978-80-86604-49-7.
- X PODJUKLOVÁ, J., PELIKÁNOVÁ, K., DOBROVODSKÁ, L., LANÍK, T., HRABOVSKÁ, K., BÁRTEK, V., MENŠÍKOV, V. V. Study of thin organic coatings as anticorrosive protection of metallic materials. In *19. Mezinárodní konference metalurgie a materiálů METAL 2010*. Rožnov pod Radhoštěm, květen 2010, str. 90, ISBN 978-80-87294-15-4.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Materiálový list ZP10

Příloha č. 2 – Fotodokumentace vzorků s vytvrzenou vrstvou nátěrového systému

Příloha č. 3 – Cyklické indentační křivky s maximálním zatížením 1g

Příloha č. 4 – Porovnání morfologie porušení vrypovou indentací

Příloha č. 5 – Fotodokumentace vzorků s řezem po expozici v korozní komoře